

**PENGARUH BAHAN BAKAR KENDARAAN
DAN PERUBAHAN SUHU TERHADAP POLUSI
UDARA**

SKRIPSI

WAKHIDATUL MUKAROMAH

NPM 1711090045



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN
LAMPUNG
1442 H / 2021 M**

PENGARUH BAHAN BAKAR KENDARAAN DAN PERUBAHAN SUHU TERHADAP POLUSI UDARA

Skripsi

Diajukan untuk Melengkapi Tugas-tugas dan
Memenuhi Syarat-Syarat guna Memperoleh Gelar
Sarjana Pendidikan (S.Pd) dalam Ilmu Fisika

**OLEH :
WAKHIDATUL MUKAROMAH
NPM 1711090045**

Jurusan : Pendidikan Fisika

Pembimbing I : Indra Gunawan, M.T

Pembimbing II : Welly Anggraini, M.Si

**FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN
LAMPUNG
1442 H / 2021 M**

BAB I

PENDAHULUAN

A. Penegasan Judul

Dalam penelitian diperlukan penjelasan yang lebih detail terkait dengan judul penelitian agar pembaca tidak mengalami kesalahan saat mengartikan dan memahami penelitian yang diinginkan peneliti. Oleh karena itu, peneliti akan menjelaskan maksud dan tujuan dari penelitian ini yang berjudul “Dampak Perubahan Suhu dan Bahan Bakar Mobil terhadap Pencemaran Udara”. Peneliti akan menjelaskan istilah-istilah yang digunakan dalam judul sebagai berikut:

1. Polusi udara

Menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara, adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan atau komponene lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak memenuhi fungsinya.

2. Perubahan suhu

Suhu adalah sifat yang menentukan apakah sebuah benda berada dalam keseimbangan termal dengan benda lain menurut Raymond Serway dan John W. Jewett (2010). Suhu ialah alat ukur panas dan dinginnya suatu benda, dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer. Namun dalam penelitian ini peneliti menggunakan peralatan Thermo Hygro. Alat ini menggabungkan dua fungsi antara termometer dan higrometer. Higrometer adalah alat yang digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembaban ruangan tertutup dan terbuka atau udara luar.

3. Bahan bakar kendaraan

Pada hakikatnya suatu kendaraan pasti menggunakan bahan bakar untuk menjalankan kendaraannya. Peneliti akan mencoba

memeriksa kendaraan yang menggunakan bahan bakar Premium, Peralite, Pertamina dan Bio Solar.

B. Latar Belakang Masalah

Mayoritas penduduk di Indonesia menggunakan kendaraan, yang mana kendaraan tersebut memberikan dampak positif bagi kehidupan manusia, diantaranya mempermudah manusia pergi ke suatu tempat baik jauh maupun dekat. Namun, dari kendaraan juga terdapat dampak negatif bagi kesehatan manusia. Resiko kesehatan akibat aktivitas manusia terjadi karena pada dasarnya setiap kegiatan selalu mempunyai dampak lingkungan dan kesehatan. Resiko kesehatan adalah dampak negatif yang hanya bisa dikelola, tetapi tidak dapat dihilangkan sama sekali. Masalah kesehatan lingkungan yang muncul menimbulkan pertanyaan antara lain tentang besarnya resiko kesehatan akibat paparan bahaya lingkungan, pengendalian resiko tanpa menghentikan kegiatan sumber risiko, serta keefektifan perangkat hukum dan teknologi yang tersedia dalam melindungi kesehatan orang yang terpapar dari efek yang merugikan kesehatan¹. Namun tidak hanya itu saja, di daerah pedesaan juga sekarang sudah sedikit tercemar akibat asap atau emisi yang dikeluarkan dari kendaraan, seperti di beberapa desa yang ada di Provinsi Lampung.

Berdasarkan ayat Al Qur'an Surah An-Nahl (16) : 8 yang menjelaskan tentang alat transportasi yang pada mulanya manusia menggunakan binatang sebagai kendaraan, sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَرْسَلَ الرِّيحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً طَهُورًا ٤٨

Artinya : “dan (Dia menciptakan) kuda, bighal, dan keledai, agar kamu menungganginya dan (menjadikannya) perhiasan dan Allah menciptakan apa yang kamu tidak mengetahuinya.”

¹ Rumselly, Komelis U. 2016. *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kualitas Udara Ambien Di Kota Ambon*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol. 8, No. 2 Juli 2016: 158–163

Di akhir ayat ini sepertinya menyiratkan bahwa akan ada mobil baru. Misalnya pesawat terbang. Uniknya, pesawat terbang juga tidak lepas dari peran hewan, lebih tepatnya terinspirasi dari penampilan burung yang mampu terbang di udara yang dijelaskan dalam QS al Mulk (67): 19 yang artinya “dan tidak memperhatikan kepada burung-burung yang melebarkan sayapnya dan mengatupkan sayapnya di udara. Tidak ada jalan lain selain orang yang paling baik hati. Jika diperluas maknanya, banyak kendaraan akan menggunakan binatang sebagai logo dari namanya. Misalnya ada Ferrari atau Logo Lamborghini di Pesawat Terbang, dan nama kendaraannya, Seperti *Eagle Airlines*, Tang Amfibi, Mobil Ceper Sepeda Motor².

Emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor dapat berupa karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂), timbal (Pb), karbondioksida (CO₂) dan debu (PM₁₀). Diantara pencemar tersebut, karbon monoksida (CO) merupakan salah satu pencemar yang dihasilkan oleh mesin kendaraan bermotor³. Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) menyatakan pada tahun 2012 kendaraan bermotor menyumbang 70,5% karbon monoksida (CO), 18,34% hidrokarbon (HC), 8,89% nitrogen oksida (NO_x), 1,33% bahan partikulat dan 0,88% Sulphur. oksida (SO_x). Emisi gas buang kendaraan bermotor dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu usia, kondisi pengoperasian, jenis dan perawatan⁴. Selain itu, emisi gas buang kendaraan bermotor juga dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti kecepatan angin, suhu dan kelembaban⁵. Semua

² Rosidin, 2018. *Transportasi Qur'ani Tafsir Tarbawi Terma Rakiba dan Derivasinya*. dialog Ilmu. Dilihat: Sabtu, 07 Juli 2018 <https://www.dialogilmu.com/2018/07/transportasi-dalam-perspektif-alquran.html>

³ Linna, S S. dkk. 2011. *Tingkat Pencemaran Udara CO Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol 1(2)

⁴ Boedisantoso, R. dan William, Y. 2015. Analisis Beban Emisi Udara CO dan NO₂ akibat Sektor Transportasi Darat di Kota Probolinggo. Jurnal Purifikasi, 15(2), 88–107.

⁵ Aprilina, K., Imelda U. B, dan Edwin A. 2016. *Hubungan antara Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Suhu Udara terhadap Intervensi Anthropogenik (Studi Kasus Nyepi Tahun 2015 di Provinsi Bali)*. Puslitbang BMKG, Jakarta.

kendaraan yang berbahan mesin pasti saja menggunakan bahan bakar kendaraan.

Bahan bakar kendaraan ada bermacam-macam, antara lain Bensin dan Bio Solar. Ada banyak jenis Bensin di sana, diantaranya bahan bakar jenis Premium, Pertalite, dan Pertamax. Berikut ini adalah hasil penjualan Bio Solar di Pertamina AKR Bumiagung, Kecamatan Tegineneng, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung dalam 5 tahun terakhir.

Tabel 1.1 Jumlah Penjualan Solar di Pertamina AKR Bumiagung Tahun 2016-2020⁶

No	Tahun	Jumlah Penjualan
1	2016	2 324 660 Liter
2	2017	2 991 898 Liter
3	2018	2 603 808 Liter
4	2019	487 884 Liter
5	2020	876 085 Liter

Terlihat dari data tersebut, bahwa setiap tahun kinerja penjualan mengalami peningkatan dan penurunan. Dalam data tahun 2016 hingga tahun 2017, penjualan solar meningkat, namun penjualan turun di tahun-tahun berikutnya. Sedangkan data yang diperoleh dari Pertamina SPBU Bumiagung adalah sebagai berikut.

Tabel 1.2 Jumlah Penjualan Bahan Bakar di Pertamina SPBU Bumiagung Tahun 2016-2020⁷

No	Tahun	Jenis dan Jumlah Penjualan Bahan Bakar Kendaraan (Liter)			
		Premium	Pertalite	Pertamax	Bio Solar
1	2016	4 593 261	-	-	3 444 202
2	2017	3 532 542	668 092	-	6 784 220

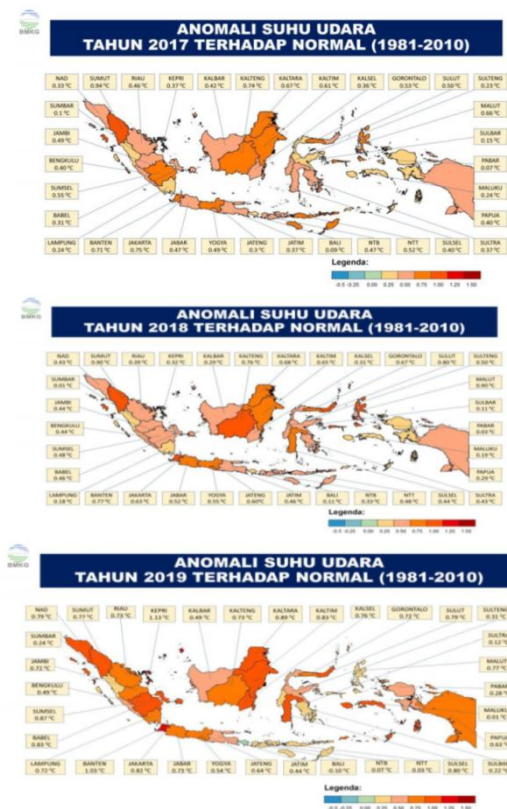
⁶ Dhesi, “*Hasil Wawancara dan Data Laporan Tahunan di Pertamina AKR Bumiagung*”. Bumiagung : Pertamina AKR pada Sabtu, 06 Februari 2021 Pukul 14.15 WIB pm.

⁷ Johan, “*Hasil Wawancara dan Data Laporan Tahunan di Pertamina SPBU Bumiagung*”. Bumiagung : Pertamina SPBU pada Sabtu, 07 Februari 2021 Pukul 14.10 WIB pm.

3	2018	2 657 485	636 739	-	7 726 535
4	2019	3 124 811	625 374	28 9959	6 906 970
5	2020	3 655 098	557 911	250 043	7 271 831

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa jenis bahan bakar kendaraan Pertamina SPBU Bumiagung mengalami peningkatan dan penurunan. Pada tahun 2017 ditambahkan jenis bahan bakar Pertalite, dan pada tahun 2019 muncul Pertamax. Selama ini BBM yang ada di Pertamina ada 4 jenis, yaitu Premium, Pertalite, Pertamax, dan Bio Solar. Selain itu, volume penjualan tahunan mengalami peningkatan dan penurunan, namun jenis bahan bakar Bio Solar mengalami peningkatan. Dari hasil tersebut merupakan salah satu faktor penyebab adanya pencemaran udara.

Namun, masalah pencemaran udara bukan hanya akibat itu saja, tetapi juga banyak faktor yang mempengaruhinya, seperti kebakaran hutan dan pembuangan limbah pabrik di sungai atau di beberapa kawasan pemukiman. Kebakaran hutan menyebabkan polusi udara yang sangat besar karena asap dari kebakaran tersebut membuat udara kotor dan tidak *higienis*, sehingga makhluk hidup tidak mungkin bernapas dan merasakan udara yang segar. Dari masalah tersebut akan menimbulkan perubahan suhu pada atmosfer bumi, sehingga manusia akan merasakan panas dan dingin, perubahan tersebut sangatlah tidak baik bagi keberlangsungan kehidupan. Namun, tidak hanya itu saja yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara, sebagian besar di Negara berkembang mengalami kejadian ekstrim. Salah satunya adalah Indonesia. Indonesia termasuk negara dengan curah hujan yang tinggi, sehingga suhu berubah dengan cepat. Diantara faktor-faktor tersebut menimbulkan faktor baru, yaitu terjadinya perubahan suhu. Badan Meteorologi dan Iklim Geofisika (BMKG) mencontohkan bahwa dalam tiga tahun terakhir Indonesia, khususnya Provinsi Lampung, adalah sebagai berikut:



Gambar 1.1 Anomali Suhu Udara Tahun 2017-2019⁸

Dari data tersebut diperoleh perubahan suhu udara rata-rata dalam 3 tahun terakhir mengalami penurunan pada tahun 2017 ke tahun 2018 yakni 0.24°C ke 0.18°C dan mengalami kenaikan pada tahun 2018 ke tahun 2019 yakni 0.18°C ke 0.77°C . Berdasarkan hal tersebut, dapat mengakibatkan kelembaban di udara yang tidak teratur.

Dalam Al-Qur'an disebutkan bahwa udara sebagai pembawa kabar gembira, apabila udara tersebut dalam kondisi tidak tercemar atau bersih. Fungsi pemantauan kualitas udara di dalam Al-Qur'an dijelaskan di dalam surat Al-Furqan ayat 48 Allah SWT berfirman:

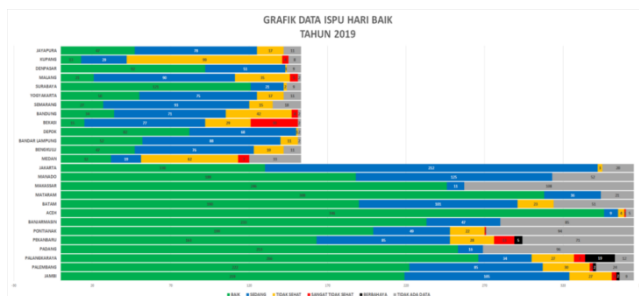
⁸ BMKG. 2020. *Perubahan Iklim*. BMKG. Dilihat: Kamis, 13 September 2020 Pukul 21.30 WIB pm <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim>

وَهُوَ الَّذِي أَرْسَلَ الرِّيحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً طَهُورًا ٤٨

Artinya : “Dialah yang meniupkan angin (udara) sebagai pembawa kabar gembira, yaitu dekat sebelum kedatangan rahmat-Nya (hujan). Dan Kami turunkan dari langit air yang sangat bersih”.

Udara merupakan salah satu unsur penting dalam kehidupan, namun seiring dengan meningkatnya penggunaan alat transportasi terutama transportasi darat, kualitas udara telah mengalami perubahan. Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan oleh pencemaran udara. Kehadiran bahan atau zat asing di dalam udara dalam jumlah tertentu dan berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan⁹.

Berdasarkan data **Gambar 1.2** Grafik Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Tahun 2019 untuk Negara Indonesia dan terutama Provinsi Lampung ternyata terdapat ISPU untuk kriteria baik indeksnya sebesar 52, kriteria sedang indeksnya 88, kriteria tidak sehat indeksnya 1 dan kriteria tidak ada data indeksnya 2. Berdasarkan data kriteria indeks tersebut Provinsi Lampung termasuk ke dalam kriteria sedang untuk Pencemaran Udaranya di tahun 2019. Sedangkan di Provinsi Lampung memiliki beberapa kabupaten, diantaranya adalah kabupaten Pesawaran.



⁹ Wardhana, Wisnu A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Penerbit Andi Offset.

Gambar 1.2 Data ISPU Hari Baik Tahun 2019¹⁰

Secara geografis, kabupaten Pesawaran merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Lampung, yang diresmikan pada 2 November 2007 berdasarkan Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2007 tentang pembentukan Kabupaten Pesawaran. Kabupaten ini semula merupakan salah satu bagian dari kabupaten Lampung Selatan. Secara geografis, kabupaten Pesawaran terletak pada koordinat $104,92^{\circ}$ – $105,34^{\circ}$ BT dan $5,12^{\circ}$ – $5,84^{\circ}$ LS. Dengan luas kabupaten ini adalah $1.173,77 \text{ km}^2$ atau $117,377 \text{ Ha}$. Kabupaten ini memiliki 11 kecamatan salah satunya adalah kecamatan Tegineneng. Kecamatan ini dilalui oleh Jalan Raya Lintas Sumatera yang merupakan bagian dari AH25. Kecamatan ini memiliki 16 kelurahan, salah satunya kelurahan Bumiagung. kelurahan ini berada di jalan Lintas tengah Sumatera yang dapat dibilang padat penduduk dan padat akan kendaraan yang melintasi kelurahan tersebut, baik dari arah utara maupun selatan. Sehingga peneliti sangat tertarik melakukan penelitian di kelurahan tersebut, dengan lokasi di Stasiun Klimatologi Klas IV BMKG Tegineneng, Lampung. Dari kedua tabel jumlah penjualan bahan bakar dan data perubahan suhu yang didukung dengan lokasi penelitian yang sesuai dan telah diuraikan, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai **PENGARUH BAHAN BAKAR KENDARAAN DAN PERUBAHAN SUHU TERHADAP POLUSI UDARA**.

C. Identifikasi dan Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah penelitian, peneliti mendapatkan beberapa identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar kendaraan berpengaruh terhadap polusi udara, karena adanya emisi yang dikeluarkan dari bahan bakar kendaraan tersebut yang menyebabkan udara tidak lagi bersih.

¹⁰ ISPU. 2020. *Data ISPU Jumlah Hari Baik*. ISPU. Dilihat: 13 September 2020 Pukul 15.00 WIB am <http://iku.menlhk.go.id/aqms/arsip>

2. Adanya Inversi suhu dapat mengakibatkan polusi udara yang serius, karena inversi dapat menyebabkan polutan terkumpul di dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar.

Kemudian berdasarkan identifikasi masalah tersebut, agar masalah tidak meluas perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Tempat yang digunakan penelitian adalah Stasiun Klimatologi Klas IV BMKG Provinsi Lampung.
2. Parameter yang diamati dari penelitian kedua pertama adalah polusi udara akibat perubahan suhu dan bahan bakar kendaraan.
3. Sifat fisika yang diamati adalah polusi udara dan perubahan suhu.
4. Daerah yang digunakan penelitian di Jalan Lintas Tengah Sumatera dan lebih tepatnya di Pertamina SPBU Bumiagung Tegineneng, Pertamina AKR Bumiagung Tegineneng dan Stasiun Klimatologi Klas IV BMKG Provinsi Lampung.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Apakah terdapat pengaruh bahan bakar kendaraan terhadap polusi udara?
2. Apakah terdapat perubahan suhu terhadap polusi udara?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat diperoleh tujuan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh polusi udara akibat bahan bakar kendaraan.
2. Untuk mengetahui apakah perubahan suhu berpengaruh terhadap pencemaran udara.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis

Manfaat teoritis penelitian ini adalah dapat menjelaskan teori yang digunakan, mengembangkan ilmu

pengetahuan dan memberikan hasil dari hipotesis mengenai Pengaruh Polusi Udara dengan Perubahan Suhu Akibat Bahan Bakar Kendaraan.

2. Manfaat praktis

Manfaat praktis penelitian ini adalah untuk memberikan informasi kepada masyarakat mengenai jenis bahan bakar kendaraan yang memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap polusi udara.

G. Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

Pada penelitian yang dilakukan, maka peneliti mengambil referensi dari beberapa penelitian terdahulu diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Irma Dita Kurniawati, Ulfa Nurullita dan Mifbakhuddin tahun 2017 yang berjudul **“Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim”** bahwa kesimpulan yang diperoleh adalah ada hubungan jumlah kendaraan dan kelembaban udara dengan konsentrasi karbon monoksida ($p < 0,05$), tidak ada hubungan antara suhu udara dan kecepatan angin dengan konsentrasi karbon monoksida ($p > 0,05$)¹¹.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Wildan Habibi yang berjudul **“Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bensin Jenis Peralite dan Pertamina Pada Mesin Bertorsi Besar (Honda Beat Fi 110 Cc)”** dengan hasil penelitiannya adalah menunjukkan nilai oktan dari bahan bakar pada putaran 2000 rpm untuk torsi paling tinggi sebesar 18 Nm (Pertamax), daya tertinggi di putaran 2000 Rpm sebesar 5.1 Kw, diperoleh kadar emisi gas buang paling rendah dan kadar emisi gas buang tertinggi diperoleh pada putaran 1750 rpm. Untuk kadar emisi gas CO terendah pada bahan bakar Peralite dengan nilai oktan 90 adalah 0.12 ppm dan Pertamina dengan nilai oktan 92

¹¹ Kurniawati, Irma D., Nurullita, Ulfa., dan Miftakhuddin. *Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang)*. J. Kesehat. Masy. Indonesia. 12 (2): 2017 ISSN 1693-3443

adalah 0,10 pada putaran Rpm 3250. Begitu pula dengan gas untuk Peralite 4,32 dan Pertamina sebesar 4,30. Gas *HC* Peralite 90 sebesar 0.3 ppm dan Pertamina 92 sebesar 0.28ppm. Sedangkan untuk Peralite sebesar 20.6ppm dan untuk Pertamina sebesar 20,69. Efek dari variasi putaran mesin serta penggunaan bahan bakar yang nilai oktannya berbeda akan mempengaruhi karakteristik emisi gas buang, setelah dianalisis dengan grafik menunjukkan perbedaan yang signifikan, gas *CO*, *HC*. Nilai oktan bahan bakar dan variasi putaran mesin berpengaruh signifikan terhadap karakteristik Daya, Torsi, dan Emisi gas buang¹².

3. Penelitian yang dilakukan oleh Amrullah, Sungkono dan Eko Prastianto yang berjudul **“Analisis pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium dan Pertamina terhadap Prestasi Mesin”** dengan hasil penelitian yang dilakukan yaitu semakin besar pembebanan yang diberikan maka prestasi mesin yang dihasilkan semakin meningkat. Dimana, pemakaian bahan bakar (*Fc*) pada bahan bakar Premium sebesar 0.292 kg/jam - 0.536 kg/jam dan bahan bakar Pertamina sebesar 0.2306 kg/jam - 0.4647 kg/jam, sedangkan efisiensi termal (η_{th}) pada bahan bakar Premium sebesar 16.006% - 44.690 % dan bahan bakar Pertamina sebesar 19.288, 31.035, 42.202, 49.598 % serta emisi gas buang yang dihasilkan Pertamina lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar Premium, dimana nilai karbon monoksida (*CO*) pada bahan bakar Premium sebesar 8 ppm, 8 ppm, 9 ppm, 10 ppm - 11 ppm, dan bahan bakar Pertamina sebesar 10 ppm, 10 ppm, 10 ppm, 10 ppm - 11 ppm¹³.
4. Nahlah Mustafa Kamal (2015) dengan judul **Studi Tingkat Kualitas Udara pada Kawasan Mall Panakkukang di Makassar** dengan hasil Penelitian yang dilakukan adalah

¹² Habibi, Moh. Wildan. 2016. *Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bensin Jenis Peralite Dan Pertamina Pada Mesin Bertorsi Besar (Honda Beat Fi 110 Cc)*. Kediri: Universitas Nusantara PGRI Kediri

¹³ Amrullah, Sungkono dan Prastianto, Eko. 2018. *Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium dan Pertamina terhadap Prestasi Mesin*. Universitas Muslim Indonesia: Universitas Muslim Indonesia

Perkembangan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang pesat. Mall yang merupakan pusat aktivitas perbelanjaan mendatangkan para pengunjung dengan membawa kendaraan bermotor, sehingga menyebabkan penurunan kualitas udara di kawasan Mall Panakkukang mengalami pencemaran. Pencemaran ini terjadi di kawasan parkir Mall Panakkukang. Penelitian ini dilakukan di kawasan parkir Mall Panakkukang selama 1 hari dengan metode otomatis menggunakan mobil laboratorium yang dilengkapi sensor udara ambien. Metode yang digunakan adalah pemantauan kualitas udara dengan metode perhitungan ISPU. Hasil penelitian diperoleh konsentrasi pencemar SO_2 6,245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_2 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 66,105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cl_2 31,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari keempat polutan tersebut tidak ada yang melampaui baku mutu udara ambien. Sedangkan polutan yang tidak terdapat di baku mutu udara ambien hasilnya adalah H_2 0.0051 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, H_2S 52,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO_2 7,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil ISPU di Mall Panakkukang dengan polutan NO_2 11,69 SO_2 31,87 dalam kategori baik sedangkan untuk polutan CO 100,4 kategori sedang¹⁴.

5. Sandri Linna Sengkey, Freddy Jansen, Steenie Wallah (2011) dengan judul **Tingkat Pencemaran Udara CO Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro** dengan hasil Penelitian yang dilakukan adalah udara yang tercemar dapat menimbulkan berbagai dampak bagi kesehatan manusia. Pencemaran udara salah satunya diakibatkan oleh kendaraan bermotor. Dari beberapa polutan yang dihasilkan CO adalah salah satu pencemar yang paling dominan dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi CO yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor di ruas jalan Sam Ratulangi Manado. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode survey dan observasi lapangan. Analisis data menggunakan pemodelan

¹⁴ Kamal, N M. 2015. *Studi Tingkat Kualitas Udara pada Kawasan Mall Panakukang di Makassar*. Skripsi Teknik Lingkungan. Universitas Hasanuddin

polusi udara skala mikro. Untuk menentukan persentase CO yaitu dengan membandingkan hasil perhitungan pemodelan dengan hasil pengukuran udara ambien. Dari penelitian ini diperoleh hasil konsentrasi CO di ruas jalan Samratulagi 7.242,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sampai 15.577,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil tersebut masih di bawah baku mutu udara ambien nasional. Dari pengukuran persentase yang dihasilkan adalah 80,22%-92% pencemaran udara oleh CO berasal dari kendaraan bermotor¹⁵.

6. Ginting Ivana Amerta Putri (2017), yang berjudul **Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Faktor Meteorology (Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Udara Ambien Roadside (Studi Kasus Pintu Tol Amplas dan Pintu Tol Tanjung Morawa)** dengan hasil penelitian diperoleh konsentrasi CO di pintu Tol Amplas dan Morawa tidak ada yang melebihi baku mutu udara ambien menurut PP. No 41 Tahun 1999. Hasil uji korelasi dan regresi linear menunjukkan bahwa hubungan jumlah kendaraan terhadap konsentrasi CO memiliki korelasi yang kuat dan positif dengan $r = 0.808$ dan $r^2 = 65,2\%$. Hubungan antara suhu dengan konsentrasi CO cukup kuat dan negatif dengan $r = 0,461$ dan $r^2 = 21,2\%$. Hubungan antara kecepatan angin dengan konsentrasi CO kuat dan negative dengan $r = 0,741$ dan $r^2 = 54,9\%$ dan hubungan kelembaban udara dengan konsentrasi CO lemah dan positif dengan $r = 0,238$ dan $r^2 = 5,7\%$ ¹⁶.
7. Romansyah, Muqorrobin Tahun 2019 **Analisis Korelasi Karbon Monoksida (Co) dan Particulate Matter (PM₁₀) dengan Kendaraan Bermotor dan Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus Pasar Induk Tradisional**

¹⁵ Linna, S S.dkk. 2011. *Tingkat Pencemaran Udara CO Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol 1(2)

¹⁶ Ginting, I A P. 2017. *Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Faktor Meteorology (Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Udara Ambien Roadside (Studi Kasus Pintu Tol Amplas dan Pintu Tol Tanjung Morawa)*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan. Universitas Sumatera Utara

Bojonegoro) dengan hasil pengukuran CO dan PM₁₀ menunjukkan bahwa parameter tersebut masih memenuhi baku mutu udara ambien berdasarkan PP. No 41 tahun 1999 kecuali CO pada titik sampling 1. Hasil korelasi menunjukkan bahwa, kendaraan bermotor dengan konsentrasi CO dan PM₁₀ memiliki korelasi yang kuat dan signifikan ($r = 0,71$ dan $0,84$), temperatur udara dengan konsentrasi CO dan PM₁₀ lemah dan tidak signifikan ($r = 0,25$ dan $0,40$), kecepatan angin dengan konsentrasi CO dan PM₁₀ sangat kuat dan signifikan ($r = -0,75$ dan $-0,70$) dan kelembaban udara dengan CO dan PM₁₀ sangat lemah ($r = -0,073$ dan $0,2$)¹⁷.

8. Ahmad Zaky Maulana tahun 2012 **Analisis Beban Pencemar udara SO₂, NO₂ dan HC dengan Pendekatan *Line Source Modeling* (Studi Kasus di Jalan Magelang Yogyakarta)** dengan hasil perhitungan menunjukkan konsentrasi pencemar terbesar adalah NO₂ sebesar 211,342 µg/m³ yang terjadi pada siang hari. Jenis kendaraan pikap/truk berkontribusi dalam menghasilkan beban pencemar. Beban pencemar tertinggi yang dihasilkan adalah NO₂ sebesar 299 ton/tahun¹⁸.
9. D. A Suryanto tahun 2012 **Analisis Tingkat Polusi Udara terhadap Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Studi Kasus DKI Jakarta** dengan hasil penelitian adalah (1) model untuk tingkat polutan HC adalah $y = -48170 + 0,02X_1 + 0,5X_3 + 0,1X_4$, (2) model untuk tingkat polutan CO adalah $y = 267003 + 01,18X_1 - 0,58X_3 + 0,5X_4$, dan (3) model untuk tingkat polutan NO adalah $y = 11043 + 0,05X_1 - 0,03X_3 + 0,03X_4$, sedangkan untuk model konsumsi BBM adalah (1) model konsumsi solar adalah $y = -413731 - 0,02X_2 +$

¹⁷ Romansyah, Muqorrobin. 2019. *Analisis Korelasi Karbon Monoksida (Co) dan Particulate Matter (PM₁₀) dengan Kendaraan Bermotor dan Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus Pasar Induk Tradisional Bojonegoro)*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

¹⁸ Ahmad Zaky Maulana, "Analisis Beban Pencemar Udara SO₂, NO₂ dan HC dengan Pendekatan *Line Source Modeling* (Studi Kasus di Jalan Magelang Yogyakarta)," *Widyariset* Vol. 15, No. 3 (2012)

$1,5X_3 + 1,4X_4$, (2) model konsumsi premium adalah $y = -759700 - 2,7X_2 + 4,85X_3 + 3,4X_4$.¹⁹

Oleh karena itu, untuk membedakan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada konteks lokasi, sistem penganalisisan, objek yang diukur dan perbandingan jumlah bahan bakar kendaraan yang menimbulkan polusi terbesar, sehingga dibuatlah penelitian ini yang berjudul **Pengaruh Bahan Bakar Kendaraan dan Perubahan Suhu Terhadap Polusi Udara**.

H. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan adalah rangkaian pembahasan yang termuat dan tercakup dalam penelitian di skripsi, dimana antara satu bab dengan bab lainnya saling berhubungan secara organik yang tidak bisa dipisahkan antara satu dan lainnya. Untuk mencapai tujuan yang diharapkan, maka sistematika pembahasan di skripsi ini dibagi kedalam beberapa bab yaitu:

Bab I, berisi pemaparan data-data yang melatarbelakangi perlunya penelitian ini dilakukan terkait dengan pengaruh perubahan suhu dan bahan bakar kendaraan terhadap polusi udara yang didukung dengan penelitian yang relevan.

Bab II, berisi tentang pemaparan dan mendeskripsikan beberapa konsep yang digunakan dalam penelitian sebagai landasan teori dan pengajuan hipotesis. Landasan teori yang digunakan menjelaskan tentang konsep dasar, jenis-jenis polusi udara dan hubungan konsep satu dengan konsep lainnya.

Bab III, berisi tentang pemaparan mengenai metode penelitian. Pada bab ini, mengulas tentang tempat penelitian, instrumen penelitian, pendekatan dan jenis penelitian, tahapan pengumpulan data, dan pengujian hipotesis.

¹⁹ D.A Suryanto, "Analisis Tingkat Polusi Udara terhadap Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Studi Kasus DKI Jakarta," UG Jurnal Vol. 6, No. 12 (2012)

Bab IV, berisi tentang hasil dan pembahasan mengenai penelitian yang telah dilakukan. Pada bab ini memaparkan data-data yang diperoleh.

Bab V, berisi tentang kesimpulan dan rekomendasi dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

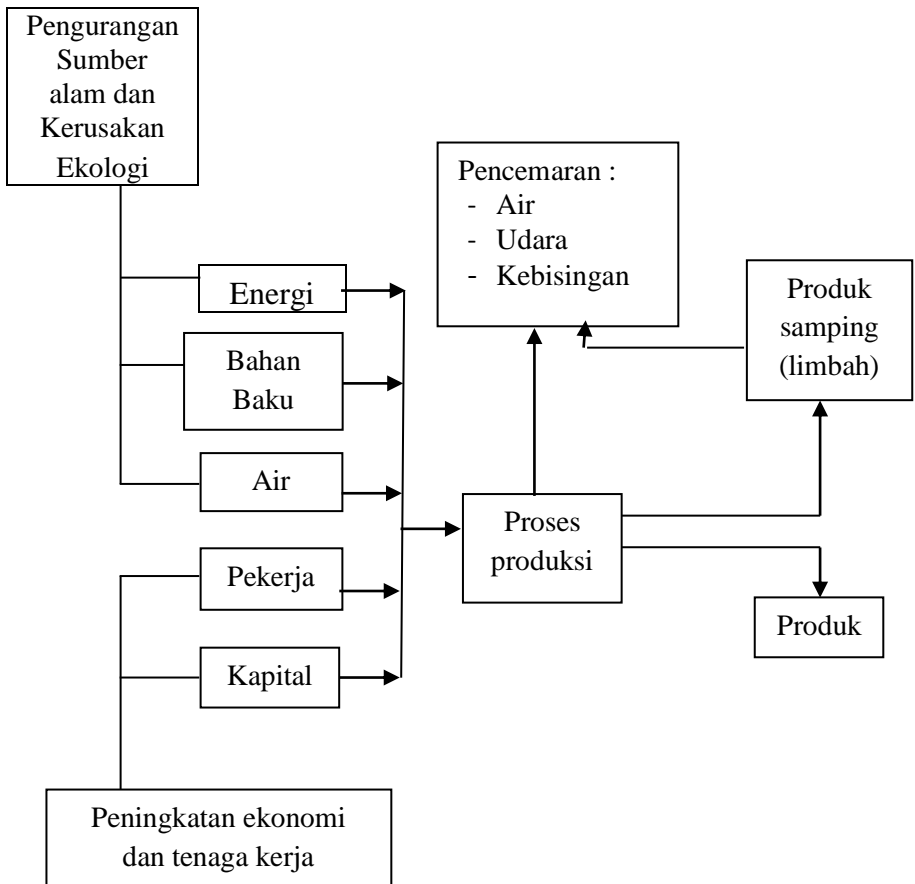
BAB II

LANDASAN TEORI dan PENGAJUAN HIPOTESIS

A. Teori yang Digunakan

Salah satu sektor yang dapat meningkatkan ekonomi suatu kawasan adalah sektor industri. Walaupun demikian, apabila perkembangan industri tidak mempertimbangkan lingkungan, maka permasalahan yang besar akan terjadi. Pengalaman buruk ini telah dialami pada masa-masa beberapa dekade yang lalu. Umumnya industri mengonsumsi 37% energi dan menghasilkan 50% karbon dioksida, 90% sulfur dioksida, serta berbagai bahan kimia beracun. Konsentrasi industri-industri besar di suatu tempat menyebabkan kerusakan lingkungan lokal yang parah serta lingkungan global. **Gambar 2.1** menunjukkan bagaimana aktivitas suatu industri dalam mengeksploitasi sumber alam dan pada saat yang sama mengeluarkan bahan pencemar ke lingkungan²⁰.

²⁰ Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. Sleman: Deepublish (CV Budi Utama)



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Produksi Yang Menghasilkan Limbah²¹

Berdasarkan pembahasan di atas, diketahui bahwa sektor industri sangat berperan penting dalam kemajuan ekonomi, namun walaupun begitu dari sektor industri dapat menyebabkan beberapa pencemaran, seperti pencemaran air, udara dan kebisingan.

1. Polusi atau Pencemaran Udara

Udara merupakan suatu lingkungan yang sangat penting bagi keberlangsungan makhluk hidup, seperti halnya dengan air dan tanaman. Udara juga menjadi salah satu fasilitas makhluk hidup yang telah diberikan oleh Tuhan sang Pencipta Alam Semesta. Namun,

²¹ ibid

dengan perkembangan zaman ini membuat udara tidak sebersih dahulu zaman Nabi Adam, karena zaman ini telah mengalami kemajuan teknologi yang sangat pesat, seperti banyaknya pabrik-pabrik bahkan kendaraan yang mampu merusak udara.

Udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan, namun dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri, kualitas udara telah mengalami perubahan. Udara yang dulunya segar, kini kering dan kotor²². Suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan merupakan udara²³.

Udara sangatlah penting bagi kehidupan manusia, karena udara merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup baik di darat, air maupun udara. Dimana akhir-akhir ini sedang digencarkan banyak sekali pencemaran, mulai dari pencemaran air, tanah, bahkan sampai ke pencemaran udara.

Berdasarkan peraturan tentang Udara bersih dikeluarkan pada tahun 1956, akibat dari tragedi tewasnya sekitar 4000 orang yang disebabkan oleh “asap” di kota London pada tahun 1952. Di Amerika Serikat, peraturan pengendalian pencemaran udara dikeluarkan pada tahun 1955. Sebelum tahun 1950-an, pencemaran udara merupakan masalah besar pada daerah yang banyak industrinya, dimana batubara digunakan sebagai bahan bakar. Sumber bahan pencemar dari batubara, termasuk partikel (asap hitam atau jelaga), karbon dioksida, hidrokarbon tidak terbakar, dan logam berat. Di Indonesia sendiri peraturan pengendalian pencemaran udara diatur melalui Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 yang terdiri dari 59 pasal²⁴.

²² Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

²³ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

²⁴ Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. Sleman: Deepublish (CV Budi Utama)

Menurut Peraturan Pemerintah No.41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara, yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak memenuhi fungsinya²⁵.

Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan pencemaran udara, yaitu masuknya zat pencemar (berbentuk gas-gas dan partikel kecil/aerosol) ke dalam udara. Masuknya zat pencemar ke dalam udara dapat secara alamiah, misalnya asap kebakaran hutan akibat gunung berapi, debu meteorit dan pancaran garam dari laut, juga sebagian besar disebabkan oleh kegiatan manusia misalnya akibat aktivitas transportasi, industri, pembuangan sampah, baik akibat proses dekomposisi ataupun pembakaran serta kegiatan rumah tangga²⁶.

Pembangunan fisik kota dan berdirinya pusat-pusat industri disertai dengan melonjaknya produksi kendaraan bermotor, mengakibatkan peningkatan kepadatan lalu lintas dan hasil produksi sampingan, yang merupakan salah satu sumber pencemaran udara. Konsentrasi pencemaran udara di beberapa kota besar dan daerah industri Indonesia menyebabkan adanya gangguan pernapasan, iritasi pada mata dan telinga, serta timbulnya penyakit tertentu. Selain itu juga mengakibatkan gangguan jarak pandang (*visibility*) yang sering menimbulkan kecelakaan lalu lintas (terutama lalu lintas di udara dan laut)²⁷.

Secara umum ada dua kelompok standar kualitas udara, yaitu kualitas udara *ambien* (lingkungan) dan kualitas udara emisi industri. Aturan umum yang digunakan untuk diperlihatkan bahwa suatu batasan emisi bahan pencemar tertentu adalah sama dengan 30 kali daripada standar udara lingkungan. Hal ini dilakukan dengan

²⁵ Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 *Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta

²⁶ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

²⁷ *ibid*

pertimbangan bahwa suatu emisi akan diencerkan dalam lingkungan udara. Kemampuan udara lingkungan untuk mengencerkan emisi tergantung pada banyak faktor, termasuk kualitas udara lingkungan dan densitas emisi. Dengan bertambahnya pencemaran udara lingkungan, kemampuan untuk mengencerkan emisi semakin kecil. Laju alir emisi juga penting, dengan bertambah besar laju emisi akan bertambah rendah emisi standarnya²⁸.

Tabel 2.1 Komponen dan Konsentrasi Bahan Pencemar Udara²⁹³⁰

Parameter	Konsentrasi ppb		Perkiraan waktu tinggal
	Udara bersih	Udara tercemar	
Partikel		>100 g/m ³	
CO	120	1.000-10.000	65 Hari
CO ₂	320.000	400.000	15 Tahun
SO ₂	0,2-10	20-200	40 Hari
NO	0,01-0,6	50-750	1 Hari
NO ₂	0,1-1	50-250	1 Hari
HNO ₂	0,001	1-8	
HNO ₃	0,02-0,3	3-50	1 Hari
O ₃	20-80	100-500	
NH ₃	1-6	10-25	20 Hari
CH ₄	1.500	2.500	8-10 Tahun
N ₂ O	300		10-150 Tahun
H ₂ S	0,2		
Pb	5 x 10 ⁻³ µg/m ³	0,3-3 µg/m ³	

Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida (CO₂). Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu.

²⁸ Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. Sleman: Deepublish (CV Budi Utama)

²⁹ Seinfeld, J. 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley, New York

³⁰ Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. Sleman: Deepublish (CV Budi Utama)

Konsentrasi CO_2 di udara selalu rendah, yaitu 0.03%. Konsentrasi CO_2 mungkin naik, tetapi masih dalam kisaran berapa per seratus persen, misalnya di sekitar proses-proses yang menghasilkan CO_2 seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran, atau di sekitar kumpulan manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena pernapasan. Konsentrasi CO_2 yang relatif rendah dijumpai di atas kebun atau ladang tanaman yang sedang tumbuh atau di udara yang baru melalui lautan. Konsentrasi yang relatif rendah ini disebabkan oleh absorpsi CO_2 oleh tanaman selama fotosintesis dan kelarutan CO_2 di dalam air, tetapi pengaruh proses-proses tersebut terhadap konsentrasi total CO_2 di udara sangat kecil, karena rendahnya konsentrasi CO_2 ³¹.

Tabel 2.2 Komposisi Udara Kering dan Bersih³²³³

Komponen	Formula	Proses Volume	Ppm
Nitrogen	N_2	78.08	780 800
Oksigen	O_2	20.95	209 500
Argon	Ar	0.934	9 340
Karbon Dioksida	CO_2	0.0314	314
Neon	Ne	0.00182	18
Helium	He	0.000524	5
Metana	CH_4	0.0002	2
Krypton	Kr	0.000114	1

2. Sumber Pencemaran Udara

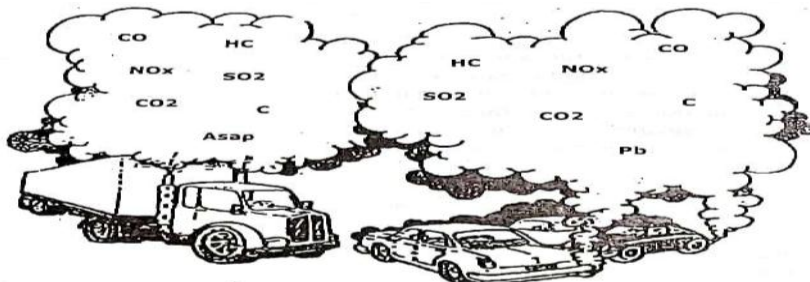
Salah satu teknologi yang menyebabkan pencemaran adalah kendaraan bermotor, sebagai salah satu sarana transportasi dan mobilitas manusia. Sebagian besar polusi udara (70%) disebabkan oleh kegiatan transportasi. Hingga saat ini pembicaraan tentang masalah polusi udara sangat sering didengar, baik kalangan intelektual maupun orang awam, bahkan masalah polusi udara ini telah menjadi masalah dunia, dimana semua orang turut merasakan akibatnya. Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar ke

³¹ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

³² Stoker, H. S dan Seager, S. I. 1972. *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Sott, Foresman and Co., London

³³ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

dalam udara ambien yang dapat mengakibatkan rendahnya bahkan rusaknya fungsi udara³⁴.



Gambar 2.2 Sumber Pencemaran Udara dari Kendaraan³⁵

Seperti tampak pada gambar ilustrasi di atas, terlihat bahwa hasil dari industri maupun kendaraan bermotor adalah peningkatan suhu udara, dan pencemaran udara oleh gas-gas CO₂, SO₂, NO_x dan lain-lain³⁶.

Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah akibat kendaraan bermotor di darat. Kendaraan bermotor merupakan sumber pencemaran udara yaitu dengan dihasilkan gas CO, NO_x, hidrokarbon, SO₂, dan *tetraethyl lead*, yang merupakan bahan logam timah yang ditambahkan ke dalam bensin berkualitas rendah untuk meningkatkan nilai oktan guna mencegah terjadinya letupan pada mesin. Parameter-parameter penting akibat aktivitas ini adalah CO, Partikulat, NO_x, HC, Pb, dan SO_x³⁷.

Emisi pencemaran udara oleh industri sangat tergantung dari jenis industri dan prosesnya. Emisi industri selain akibat prosesnya juga diperhitungkan pencemaran udara dari peralatan yang digunakannya (utilitas). Berbagai industri dan pusat pembangkit tenaga listrik menggunakan tenaga dan panas yang berasal dari

³⁴ Arifin, Zainal dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta

³⁵ Swisscontact. 2001. *Analisis Motor Bensin berdasarkan Hasil Uji Emisi Gas Buang*. Swisscontact Jakarta

³⁶ Arifin, Zainal dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta

³⁷ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

pembakaran arang dan bensin, hasil sampingan dari pembakaran tersebut adalah SO_x , asap dan bahan pencemar lainnya³⁸.

Pembakaran sampah merupakan kegiatan ketiga yang dideteksi mempunyai peranan besar dalam pencemaran udara. Sampah perlu mendapatkan perhatian dan penanganan yang baik, di kota-kota besar, dimana masyarakat tidak dapat menangani sendiri pembuangannya. Begitu pula sampah yang berasal dari industri, pasar, pertokoan, kaki lima dan sampah jalanan. Sampah yang tidak dikelola dengan baik juga dapat menjadi sumber penularan penyakit dan mencemari lingkungan. Proses pembakaran sampah walaupun skalanya kecil sangat berperan dalam menambah jumlah zat yang perlu diperhitungkan dalam emisi pencemaran udara oleh sampah, adalah emisi partikulat akibat proses pembakaran, sedangkan emisi dari dekomposisi yang perlu diperhatikan adalah emisi HC dalam bentuk gas metana³⁹.

Kegiatan rumah tangga mengemisikan pencemaran udara yaitu dari proses pembakaran untuk keperluan pengolahan makanan. Parameter udara yang diemisikan ke atmosfer juga identik dengan parameter-parameter yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor, kecuali senyawa tambahan di dalam bahan bakar seperti Pb ⁴⁰.

Polutan udara primer, yaitu polutan yang mencakup 90% dari jumlah polutan seluruhnya, dapat dibedakan menjadi 5 kelompok yaitu CO , NO_x , HC, SO_x dan Partikel. Toksisitas kelima kelompok polutan tersebut berbeda-beda seperti tabel berikut.

Tabel 2.3 Toksisitas Relatif Polutan Udara^{41,42}

Polutan	Level Toleransi		Toksisitas Relatif
	Ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CO	32.0	40 000	1.00

³⁸ ibid

³⁹ ibid

⁴⁰ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

⁴¹ Babcook, I. R. Jr. 1970. *A combined Pollution Index For Measurement of total air pollution*. J. Air Pol. Contr. Assoc. 20: 643-659

⁴² Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

HC		19 300	2.07
SO _x	0.50	1 430	28.0
NO _x	0.25	514	77.8
Partikel		375	106.7

Ternyata polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan adalah partikel-partikel, diikuti berturut-turut dengan NO_x, SO_x, Hidrokarbon dan yang paling rendah toksisitasnya adalah karbon monoksida⁴³.

Tabel 2.4 Bahan Pencemar Udara yang Utama dan Sumbernya⁴⁴⁵

Bahan Pencemar	Sumber Aktivitas								
	Pembangkit listrik	Lalu Lintas	Pemanas Ruangan	Kilang Minyak	Pertambangan	Kimia, Farmasi	Industri, Logam dan lain-lain	Insenerasi Limbah	Pertanian
Partikel	△	△	△		△		△	△	△
CO ₂	△	△	△					△	
SO _x	△	△	△	△				△	
NO _x	△	△	△	△				△	
VOC	△	△	△	△				△	
O ₃		△						△	
HC	△	△	△	△		△		△	
Logam Berat									

⁴³ ibid

⁴⁴ Keily, G. 1998. *Environmental Engineering, International Editions*, McGraw-Hill International. Singapore

⁴⁵ Machdar, Izarul. 2018. *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. Sleman: Deepublish (CV Budi Utama)

Pb		△			△		△	△	
Hg	△		△		△	△	△	△	
Cu					△		△	△	
Cd			△		△	△	△	△	
Zn					△		△	△	△
CFC							△	△	

3. Jenis Pencemaran Udara

Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar dapat berupa partikel (debu, aerosol, timah hitam), gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S, Hidrokarbon), dan energi (Suhu dan Kebisingan). Berdasarkan dari kejadian terbentuknya pencemaran terdiri dari pencemaran primer (yang diemisikan langsung oleh sumber) dan pencemaran sekunder (yang terbentuk karena reaksi di udara antara berbagai zat). Sedangkan pola emisi, akan menggolongkan pencemaran dari sumber titik (*point source*), atau sumber garis (*line source*), dan sumber area (*area source*).

Dilihat secara kimiawi, banyak sekali macam bahan pencemaran (puluhan ribu bahkan tak terbatas), sebagai contoh dari asap rokok telah diidentifikasi lebih dari 200 macam bahan pencemar. Namun, biasanya yang menjadi perhatian adalah pencemaran utama (*major air pollutant*) yaitu golongan oksida karbon (CO, CO₂), oksida belerang (SO₂, SO₃), oksida nitrogen (N₂O, NO, NO₃), senyawa hasil reaksi fotokimia, partikel (asap, debu, asbestos, metal, minyak, garam, sulfat), senyawa anorganik (asbestos, HF, H₂S, NH₃, H₂SO₄, HNO₃), hidrokarbon (CH₄, C₄H₁₀), unsur radioaktif (Tritium, Radon), energi panas (suhu) dan kebisingan.

Gas di udara dengan reaksi fotokimia dapat membentuk bahan pencemar sekunder, misalnya *peroxyl* radikal dengan oksigen akan membentuk ozon dan nitrogen dioksida berubah menjadi nitrogen monoksida dengan oksigen dan sebagainya. Paparan dari gas terhadap manusia pada umumnya melalui pernapasan dan cara

penanggulangannya terutama dengan mengurangi pembebasan bahan pencemar secara langsung ke udara, misalnya dengan menggunakan “*gas scrubber*”, alat tambahan pada knalpot dan sebagainya.

Partikel dengan ukuran antara 0,01-5µm merupakan sumber pencemaran udara yang utama karena keadaannya tidak terlihat secara nyata dan terus berbeda di atmosfer untuk waktu yang cukup lama dan kemungkinan besar dengan proses kimia dapat berubah menjadi bahan pencemar sekunder. Dampak negatif dari bahan-bahan pencemar ini, biasanya berupa gangguan pada bahan-bahan bangunan, tanaman dan hewan serta manusia⁴⁶.

a. Karbon Monoksida

1) Sumber Karbon Monoksida di Udara

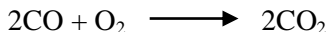
Karbon Monoksida (CO) adalah suatu komponen tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas rata - 192°C. Komponen ini mempunyai berat sebesar 96.5% dari berat air dan tidak larut di dalam air. Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut.

- a) Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- b) Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
- c) Pada suhu tinggi, karbon dioksida terurai menjadi karbon monoksida dan O.

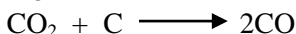
Pembentukan karbon monoksida hanya terjadi jika reaktan yang ada terdiri dari karbon dan oksigen murni. Jika yang terjadi adalah pembakaran komponen yang mengandung karbon di udara, prosesnya lebih kompleks dan terdiri dari beberapa tahap reaksi. Secara sederhana pembakaran karbon dalam minyak bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut:



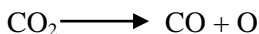
⁴⁶ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB



Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat daripada reaksi kedua, oleh karena itu CO merupakan *intermediate* pada reaksi pembakaran tersebut dan dapat merupakan produk akhir, jika jumlah CO_2 tidak cukup untuk melangsungkan reaksi kedua. Reaksi antara karbon monoksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi dapat menghasilkan karbon monoksida dengan reaksi sebagai berikut.



Reaksi ini sering terjadi pada suhu tinggi yang umumnya terdapat pada industri-industri, misalnya pada pembakaran di dalam furnish. Karbon dioksida dan CO terdapat pada keadaan ekuilibrium pada suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut:



Suhu tinggi merangsang pembentukan CO dan O. Sebagai contoh, pada suhu 2960°C terjadi disosiasi CO_2 sebanyak 1% menjadi CO dan O, sedangkan pada suhu 2495°C sebanyak 5% CO_2 yang terdisosiasi menjadi CO dan O. Jika campuran pada ekuilibrium pada suhu tinggi tiba-tiba didinginkan, CO akan tetap berada dalam campuran yang telah didinginkan tersebut, karena dibutuhkan waktu yang lama untuk mencapai ekuilibrium yang baru pada suhu rendah.

2) Penyebab Karbon Monoksida di Udara

Jika dilihat dari sumber-sumber yang memproduksi CO, maka seharusnya pencemaran CO di udara cukup tinggi, tetapi ternyata hal ini tidak terjadi atau dengan kata lain jumlah pencemaran CO di udara jauh lebih kecil dibandingkan dengan jumlah yang dilepaskan di atmosfer. Mekanisme alami dimana karbon monoksida hilang dari udara dan pembersih CO dari udara kemungkinan terjadi karena beberapa proses sebagai berikut:

- a) Reaksi atmosfer yang berjalan sangatlah lambat, sehingga jumlah CO yang hilang sangat sedikit.
- b) Aktivitas mikroorganisme yang terdapat dalam bentuk tanah dapat menghilangkan CO dengan kecepatan relatif tinggi dari udara.

Kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama (sekitar 59.2%), maka daerah-daerah yang berpenduduk padat dengan lalu lintas ramai memperlihatkan tingkat polusi CO yang tinggi. Konsentrasi CO di udara waktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan bermotor yang ada. Semakin ramai kendaraan bermotor yang ada, semakin tinggi polusi CO di udara.

Konsentrasi CO di udara pada tempat tertentu dipengaruhi oleh kecepatan emisi (pelepasan) CO di udara dan kecepatan disperse serta pembersihan CO dari udara. Kecepatan dispersi dipengaruhi langsung oleh faktor-faktor meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, turbulensi udara dan stabilitas atmosfer.

- 3) Pengaruh Karbon Monoksida terhadap Lingkungan
 - a) Pengaruh CO terhadap Tanaman

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemberian CO selama 1 sampai 3 minggu pada konsentrasi sampai 100 ppm tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap tanaman tingkat tinggi. Akan tetapi, kemampuan untuk fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas akan terhadap dengan pemberian CO selama 25 jam pada konsentrasi 2000 ppm. Demikian pula kemampuan untuk fiksasi nitrogen oleh bakteri terdapat pada akar tanaman juga terhambat dengan pemberian CO sebesar 100 ppm selama satu bulan, karena konsentrasi CO di udara jarang mencapai 100 ppm, meskipun dalam waktu sebentar. Maka pengaruh CO terhadap tanaman-tanaman biasanya tidak terlihat secara jelas.

b) Pengaruh CO terhadap Manusia

Pengaruh beracun CO terhadap tubuh terutama disebabkan oleh reaksi antara CO dengan Hemoglobin (Hb) di dalam darah. Hemoglobin di dalam darah secara normal berfungsi dalam sistem transport untuk membawa oksigen dalam bentuk oksihemoglobin (O_2Hb) dari paru-paru ke sel-sel tubuh, membawa CO_2 dalam bentuk O_2Hb dari sel-sel ke paru-paru. Faktor penting yang menentukan pengaruh CO terhadap tubuh manusia adalah konsentrasi COHb yang terdapat di dalam darah, dimana semakin tinggi persentase hemoglobin yang terikat dalam bentuk COHb, semakin parah pengaruhnya terhadap kesehatan manusia. Hubungan antara konsentrasi COHb di dalam darah dan pengaruhnya terhadap kesehatan dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Pengaruh Konsentrasi COHb di dalam Darah terhadap Kesehatan Manusia⁴⁷⁴⁸

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruhnya terhadap Kesehatan
<1.0	Tidak ada pengaruh.
1.0 - 2.0	Penampilan agak tidak normal.
2.0 - 5.0	Pengaruhnya terhadap sistem saraf sentral, reaksi panca indra tidak normal, benda terlihat agak kabur.
≥5.0	Perubahan Fungsi jantung dan pulmonari.
10.0 - 80.0	Kepala pening, mual, berkunang-kunang, pingsan, kesukaran bernafas, kematian.

⁴⁷ Stoker, H. S dan Seager, S. I. 1972. *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Sott, Foresman and Co., London

⁴⁸ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

Secara normal sebenarnya darah mengandung COHb dalam jumlah sekitar 0.5%. Jumlah ini berasal dari CO yang diproduksi oleh tubuh selama metabolisme pemecahan heme, yaitu komponen dari hemoglobin. Sisanya berasal dari CO yang terdapat di udara dalam konsentrasi rendah. Persen ekuilibrium COHb di dalam darah manusia yang mengalami kontak dengan CO pada konsentrasi kurang dari 100 ppm dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$\% \text{COHb dalam darah} = 0.16 \times (\text{konsentrasi CO di} + 0.5 \text{ udara dalam paru})$

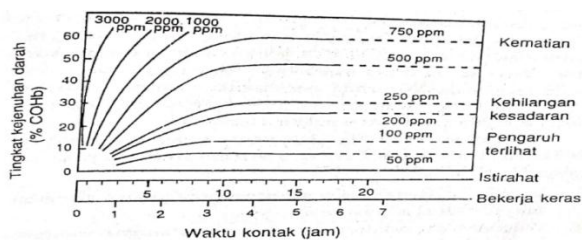
Dimana nilai 0.5 merupakan persentase normal COHb di dalam darah.

Tabel 2.6 Data Ekuilibrium antara COHb di dalam Darah dengan CO di Udara⁴⁹

Konsentrasi CO di Udara (ppm)	Konsentrasi Ekuilibrium COHb di dalam darah (%)
10	2.1
20	3.7
30	5.3
50	8.5
70	11.7

Polusi udara oleh CO juga terjadi selama merokok. Asap rokok mengandung CO dengan konsentrasi lebih dari 20000 ppm. Selama dihisap, konsentrasi tersebut diencerkan menjadi 400-500 ppm. Konsentrasi CO yang tinggi di dalam asap rokok yang terhisap tersebut mengakibatkan kadar COHb di dalam darah meningkat.

⁴⁹ ibid



Gambar 2.3 Pengaruh Jenis AKtivitas Fisik dan Waktu terhadap Konsentrasi COHb di dalam Darah⁵⁰⁵¹

Tabel 2.7 Konsentrasi COHb di dalam Darah Perokok⁵²⁵³

Kategori Perokok	Median Ekuilibrium COHb di dalam Darah (%)
Tidak pernah merokok	1.3
Bekas perokok	1.4
Perokok dengan pipa	1.7
Perokok ringan (<1/2 pak/hari)	2.3-3.8
Perokok sedang (1/2-2 pak/hari)	5.9
Perokok berat (>2 pak/hari)	6.9

- 4) Kontrol terhadap Polusi Karbon Monoksida
- Berbagai cara telah dilakukan untuk mengontrol emisi CO dari kendaraan bermotor, cara-cara tersebut diantaranya:
- a) Modifikasi mesin pembakar untuk mengurangi jumlah polutan yang terbentuk selama pembakaran.
 - b) Pengembangan reaktor sistem *exhaust*, sehingga pembakaran berlangsung sempurna dan polutan yang berbahaya diubah menjadi polutan yang lebih aman.

⁵⁰ Wolf, P. C. 1971. *Carbon Monoxide-measurement and monitoring in urban air*. Environm, Sci and Technol. 5: 212-218

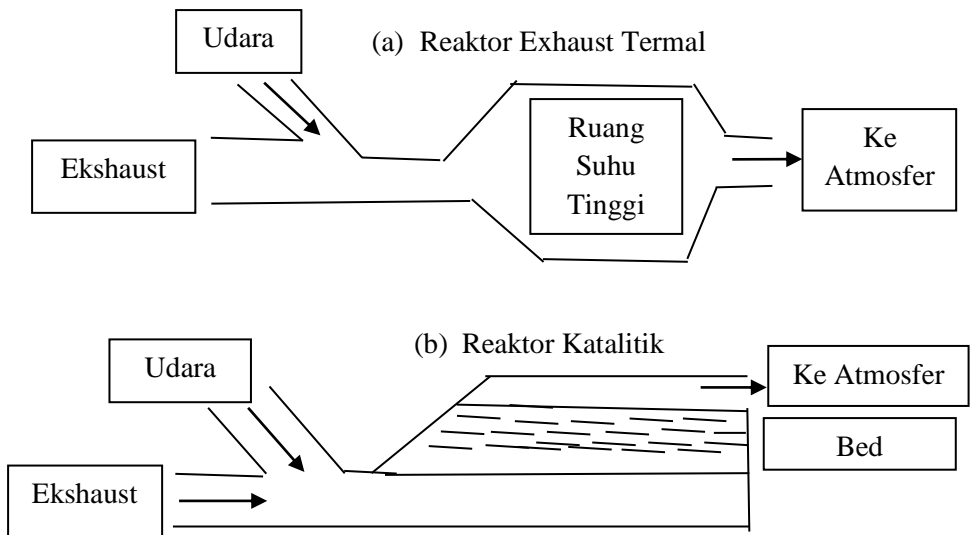
⁵¹ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

⁵² Stoker, H. S dan Seager, S. I. 1972. *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Sott, Foresman and Co., London

⁵³ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

- c) Pengembangan substitusi bahan bakar untuk bensin, sehingga menghasilkan polutan dengan konsentrasi rendah selama pembakaran.
- d) Pengembangan sumber tenaga yang rendah polusi untuk menggantikan mesin pembakaran yang ada.

Contoh dari reaktor sistem *exhaust*, misalnya *reaktor exhaust termal* dan *reaktor katalitik*. Reaktor *exhaust termal* terdiri dari suatu wadah yang bersuhu tinggi yang menempel pada mesin. Reaktor kedua disebut dengan reaktor katalitik menggunakan suatu bed yang berisi butiran bahan katalis yang menjadi aktif pada suhu sedang.



Gambar 2.4 Bagan Reaktor Buangan Gas⁵⁴

b. Nitrogen Oksida

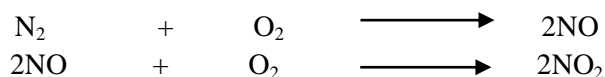
1) Pembentukan Nitrogen Oksida

Nitrogen Oksida (NO_x) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Nitrogen oksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau,

⁵⁴ ibid

sebaliknya nitrogen dioksida mempunyai warna coklat kemerahan dan berbau tajam.

Oksida yang lebih rendah yaitu NO, terdapat di atmosfer dalam jumlah lebih besar daripada NO₂. Pembentukan NO dan NO₂ mencakup reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara, sehingga membentuk NO, kemudian reaksi selanjutnya antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut.



Udara terdiri dari sekitar 80% volume nitrogen dan 20% volume oksigen. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 12,10°C – 17,65°C dengan adanya udara, oleh karena itu reaksi ini merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dalam proses pembakaran.

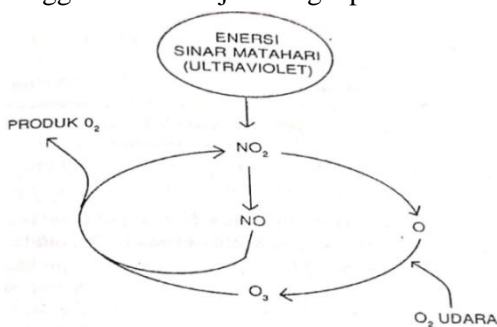
2) Sumber Polusi Nitrogen Oksida

Konsentrasi NO_x di udara di daerah perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Konsentrasi NO_x di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0.5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk, karena sumber utama NO_x yang diproduksi oleh manusia adalah pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam dan bensin.

3) Siklus Fotolitik Nitrogen Dioksida

Tahapan-tahapan fotolitik NO₂ sebagai berikut:

- a) NO_2 mengabsorbsi energi dalam bentuk sinar ultraviolet dari matahari.
- b) Energi yang diabsorbsi tersebut memecah molekul-molekul NO_2 menjadi molekul-molekul NO dan atom-atom oksigen (O). Atom oksigen yang terbentuk bersifat sangat reaktif.
- c) Atom-atom oksigen akan bereaksi dengan oksigen atmosfer (O_2) yang merupakan polutan sekunder.
- d) Ozon akan bereaksi dengan NO membentuk NO_2 dan O_2 , sehingga reaksi menjadi lengkap.



Gambar 2.5 Siklus NO_2 Fotolitik⁵⁵

Reaksi yang mungkin mengganggu terhadap siklus fotolitik tersebut adalah jika terdapat hidrokarbon yang sering dihasilkan bersama-sama dengan sumber NO_x . Hidrokarbon akan berinteraksi sedemikian rupa, sehingga siklus tersebut menjadi tidak seimbang, sehingga NO akan diubah menjadi NO_2 dengan kecepatan lebih tinggi daripada disosiasi NO_2 menjadi NO dan O . Keadaan ini mengakibatkan terkumpulnya ozon di atmosfer.

4) Penyebaran Nitrogen Oksida

Konsentrasi NO_x di udara dalam suatu kota bervariasi sepanjang hari tergantung dari sinar matahari dan

⁵⁵ EPA (Environmental Protection Agency). 1971. *Air quality criteria for nitrogen oxides*. Air Pol. Contr. Office Publ. No. Ap: 84

aktivitas kendaraan. Perubahan konsentrasi NO_x berlangsung sebagai berikut:

- a) Sebelum matahari terbit, konsentrasi NO dan NO_2 tetap stabil pada konsentrasi sedikit lebih tinggi dari konsentrasi minimum sehari-hari.
- b) Segera setelah aktivitas manusia meningkat (jam 6-8 pagi) konsentrasi NO meningkat terutama karena meningkatkan aktivitas lalu lintas yaitu kendaraan bermotor. Konsentrasi NO tertinggi pada saat ini dapat mencapai 1-2 ppm.
- c) Dengan terbitnya sinar matahari yang memancarkan sinar ultraviolet, konsentrasi NO_2 meningkat, karena perubahan NO primer menjadi NO_2 sekunder. Konsentrasi NO_2 pada saat ini dapat mencapai 0.5 ppm.
- d) Konsentrasi ozon meningkat dengan menurunnya konsentrasi NO sampai kurang dari 0.1 ppm.
- e) Jika intensitas energi solar (sinar matahari) menurun pada sore hari (jam 5-8 sore) konsentrasi NO meningkat kembali.
- f) Energi matahari tidak tersedia untuk mengubah NO menjadi NO_2 (melalui reaksi hidrokarbon), tetapi O_3 yang terkumpul sepanjang hari akan bereaksi dengan NO. Akibatnya terjadi kenaikan konsentrasi NO_2 dan penurunan konsentrasi O_3 .

5) Pengaruh Nitrogen Oksida terhadap Lingkungan

a) Pengaruh NO_x Terhadap Tanaman

Adanya NO_x di atmosfer akan mengakibatkan kerusakan tanaman, tetapi sukar ditentukan apakah kerusakan tersebut disebabkan langsung oleh NO_x atau karena polutan sekunder yang diproduksi dalam siklus fotolitik NO_2 . Beberapa polutan sekunder diketahui bersifat sangat merusak tanaman. Perubahan dengan fumigasi tanaman-tanaman dengan NO_2 menunjukkan terjadinya bintik-bintik pada daun jika digunakan konsentrasi 1.0 ppm, sedangkan

dengan konsentrasi yang lebih tinggi (3.5 ppm atau lebih) terjadi nekrosis atau kerusakan turunan daun⁵⁶.

b) Pengaruh NO_x Terhadap Manusia

Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu NO dan NO_2 sangat berbahaya terhadap manusia. Penelitian aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO_2 empat kali lebih beracun daripada NO. Selama ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer, NO tidak mengakibatkan iritasi dan tidak berbahaya, tetapi pada konsentrasi udara ambien yang normal NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO_2 yang lebih beracun.

c) Kontrol Terhadap Polusi Nitrogen Oksida

Penelitian dan pengembangan kontrol terhadap polusi NO_x terutama diarahkan pada dua macam metode kontrol yaitu modifikasi kondisi pembakaran untuk menurunkan NO_x yang dihasilkan dan metode lainnya adalah cara untuk menghilangkan NO_x dari gas pembuangan.

Pada metode pembakaran dua tahap, sebagian bahan bakar dibakar dengan udara dalam jumlah stoikiometri lebih rendah dari yang tersedia, sehingga oksigen yang tersedia tidak berlebih dan mengurangi produksi NO. Pada tahap kedua pembakaran dilanjutkan setelah penyuntikan udara ke dalam campuran. Dengan cara menghilangkan panas di antara dua tahap, suhu dimana pembakaran terjadi pada keadaan udara berlebih menjadi lebih rendah, sehingga konsentrasi NO yang terbentuk juga berkurang.

⁵⁶ Stoker, H. S dan Seager, S. I. 1972. *Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*. Sott, Foresman and Co., London

Metode adsorpsi tidak praktis digunakan untuk mengontrol produksi NO_x dari kendaraan bermotor, tetapi efektif digunakan untuk mengadsorpsi gas yang keluar dari teropong asap. Gas yang keluar dilakukan melalui adsorber padat atau cair, dimana NO_x akan bertahan. Sistem absorpsi yang mengandung air akan lebih efektif digunakan, terutama jika air tersebut mengandung komponen alkali atau asam sulfat. Sistem yang telah dikembangkan dapat menghilangkan NO_2 dan sulfur oksida sekaligus.

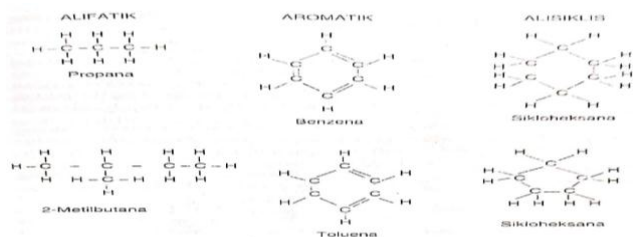
c. Hidrokarbon dan Oksidan Fotokimia

1) Sumber Hidrokarbon dan Oksidan Fotokimia

Hidrokarbon dan Oksidan Fotokimia merupakan komponen polutan udara yang berbeda, tetapi mempunyai hubungan satu sama lain. Hidrokarbon merupakan polutan primer, karena dilepaskan ke udara secara langsung, sedangkan oksidan fotokimia merupakan polutan sekunder yang dihasilkan di atmosfer dari reaksi-reaksi yang melibatkan polutan primer.

a) Hidrokarbon

Hidrokarbon dapat dibedakan atas tiga kelompok berdasarkan struktur molekulnya, yaitu hidrokarbon *alifatik*, *aromatik* dan *alisiklis*. Molekul hidrokarbon alifatik tidak mengandung cincin atom karbon, dan semua atom karbon tersusun dalam rantai lurus atau bercabang. Molekul hidrokarbon aromatik mengandung cincin enam karbon (cincin benzena) dan setiap atom karbon dalam cincin tersebut hanya mengandung satu atom tambahan, yaitu C atau H. Hidrokarbon alisiklis adalah hidrokarbon yang mengandung struktur cincin selain benzena.



Gambar 2.6 Beberapa Contoh Hidrokarbon⁵⁷

b) Oksidan Fotokimia

Oksidan fotokimia adalah komponen atmosfer yang diproduksi oleh proses fotokimia, yaitu proses kimia yang membutuhkan sinar, yang akan mengoksidasi komponen-komponen yang tidak segera dapat dioksidasi oleh gas oksigen. Senyawa yang terbentuk merupakan polutan sekunder yang diproduksi, karena interaksi antara polutan primer dengan sinar.

Hidrokarbon merupakan komponen yang berperan dalam produksi oksidan fotokimia. Reaksi ini juga melibatkan siklus fotolitik O_2 . Polutan sekunder yang paling berbahaya yang dihasilkan oleh reaksi hidrokarbon dalam siklus tersebut adalah *ozon* (O_3) dan *peroksi asetil nitrat*, yaitu salah satu komponen yang paling sederhana dari grup peroksiasetilnitrat (PAN).

Bahaya polusi hidrokarbon bukan disebabkan oleh hidrokarbon tersebut, melainkan oleh produk-produk reaksi fotokimia yang melibatkan hidrokarbon. Hidrokarbon tidak bereaksi langsung dengan sinar matahari, tetapi sangat reaktif terhadap komponen-komponen lainnya yang diproduksi secara fotokimia. Beberapa reaksi yang mungkin terjadi

⁵⁷ Ferdiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius

diantara bermacam-macam reaksi adalah sebagai berikut:

- (1) Radikal bebas bereaksi cepat dengan NO membentuk NO_2 . Karena NO dihilangkan dari siklus tersebut, akibatnya mekanisme normal untuk menghilangkan O_3 dari siklus tidak terjadi, sehingga konsentrasi O_3 meningkat.
- (2) Radikal bebas dapat bereaksi dengan O_2 dan NO_2 membentuk peroksisasetilnitrat.
- (3) Radikal bebas dapat bereaksi dengan hidrokarbon lainnya dan komponen oksigen membentuk komponen-komponen organik lainnya yang tidak diinginkan.

Campuran produk-produk sebagai akibat hidrokarbon di dalam siklus NO_2 disebut *smog fotokimia* yaitu terdiri dari kumpulan O_3 , CO, PAN, dan komponen-komponen organik lainnya termasuk aldehid, keton, dan alkil nitrat.

2) Pengaruh Hidrokarbon dan Oksidan Fotokimia terhadap Lingkungan

a) Pengaruh terhadap tanaman

Polusi udara fotokimia mengakibatkan kerusakan pada tanaman. Komponen fotokimia yang paling merusak tanaman adalah ozon, tetapi kelompok PAN juga berperan dalam menyebabkan kerusakan tersebut. Pengaruh ozon yang dapat terlihat langsung pada tanaman adalah terjadinya pemucatan, karena kematian sel-sel pada permukaan daun, di mana daun yang lebih tua lebih sensitif terhadap kerusakan tersebut.

Etilen (C_2H_4) merupakan satu-satunya hidrokarbon yang mengakibatkan kerusakan tanaman pada konsentrasi ambien 1 ppm atau kurang. Pengaruh etilen terhadap tanaman

terutama adalah menghambat pertumbuhan, perubahan warna daun, dan kematian bagian-bagian bunga.

b) Pengaruh terhadap manusia

Tabel 2.8 Toksisitas Dua Macam Hidrokarbon Aromatik⁵⁸

Hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
Benzene C_6H_6	100	Iritasi membran mukosa.
	3000	Lemas setelah $\frac{1}{2}$ – 1 jam.
	7500	Pengaruh berbahaya setelah $\frac{1}{2}$ – 1 jam. Kematian setelah 5-10 menit. Sedikit pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah 8 jam. Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah 8 jam.

Dua macam reaksi yang terjadi karena pengaruh ozon terhadap bahan-bahan tersebut, yaitu:

- (1) Pemecahan ikatan karbon, sehingga atom-atom karbon yang terdapat pada polimer panjang tersebut terpecah-pecah, akibatnya bahan menjadi lebih cair dan kekuatan lenturnya hilang.
- (2) Terbentuk ikatan silang pada rantai karbon, sehingga terbentuk ikatan-ikatan baru di antara rantai karbon yang paralel, akibatnya bahan menjadi kurang elastis dan lebih rapuh.

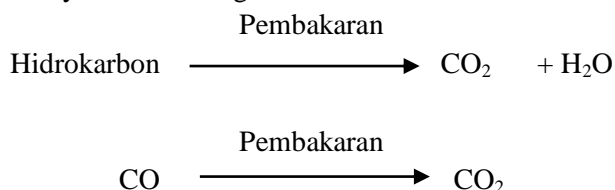
⁵⁸ Stoker, H. S dan Seager, S. I 1972. *Environmental Chemistry : Air and Water Pollution*. Scott, Foreman and Co., London

Reaksi-reaksi tersebut terjadi pada konsentrasi ozon ambien yang jauh lebih rendah dari pada konsentrasi yang mengakibatkan pengaruh merugikan pada manusia.

3) Kontrol terhadap Hidrokarbon dan Polutan Fotokimia

Ozon dan PAN merupakan polutan sekunder, oleh karena itu kontrol terhadap polutan tersebut tergantung dari kontrol terhadap prekursor primer, yaitu hidrokarbon dan nitrogen oksida. Ada 4 macam teknik yang telah digunakan untuk mengontrol emisi, hidrokarbon dari sumbernya, yaitu *insinerasi*, *adsorpsi*, dan *kondensasi*. Pada metode adsorpsi gas-gas buangan dilakukan pada bed yang terdiri dari adsorber granular terbuat dari karbon aktif.

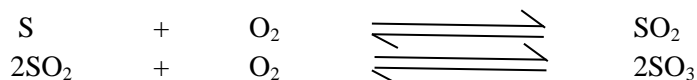
Pada metode adsorpsi, caranya hampir sama dengan metode adsorpsi, hanya bedanya gas-gas buangan mengalami kontak dengan cairan di mana hidrokarbon akan larut atau tersuspensi. Metode kondensasi dilakukan berdasarkan kenyataan bahwa pada suhu yang cukup rendah gas hidrokarbon akan mengalami kondensasi menjadi cairan. Kontrol emisi hidrokarbon dari kendaraan bermotor lebih kompleks, karena masalahnya bukan saja berasal dari buangan hidrokarbon tetapi juga penguapan hidrokarbon. Kontrol tersebut terdiri dari sistem kolektor yang mentransport uap bahan bakar dari tangki bahan bakar dan karburator ke suatu wadah berisi karbon aktif. Pada sistem ini uap yang terkumpul dapat dikembalikan ke sistem induksi bahan bakar dan dibakar di dalam mesin. Metode yang dilakukan terhadap produk akhir yang diinginkan dari pembakaran CO dan hidrokarbon. Reaksinya adalah sebagai berikut:



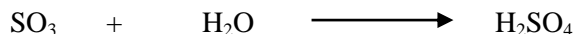
d. Sulfur Oksida

1) Reaksi Pembentukan Sulfur Oksida

Polusi oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut SO_x . Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.



Adanya SO_3 di udara dalam bentuk gas hanya mungkin jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup seperti biasanya, SO_3 dan air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat (H_2SO_4) dengan reaksi sebagai berikut:



Oleh karena itu, komponen yang normal terdapat di dalam atmosfer bukan SO_3 , melainkan H_2SO_4 . Jumlah H_2SO_4 atmosfer ternyata lebih tinggi dari pada yang dihasilkan dari emisi SO_3 , hal ini menunjukkan bahwa produksi H_2SO_4 juga berasal dari mekanisme-mekanisme lainnya.

2) Sumber Polusi Sulfur Oksida

Masalah yang ditimbulkan oleh polutan yang dibuat manusia adalah dalam hal distribusinya tidak merata, sehingga terkonsentrasi pada daerah tertentu, bukan dari jumlah keseluruhannya, sedangkan polusi dari sumber alam biasanya lebih tersebar merata. Transportasi bukan merupakan sumber utama polutan SO_x , tetapi pembakaran bahan bakar pada sumbernya merupakan sumber utama polutan SO_x , misalnya pembakaran batu arang, minyak bakar, gas, kayu, dan lain sebagainya. Sumber SO_x yang kedua adalah dari proses-proses industri seperti industri pemurnian petroleum, industri asam sulfat, industri

peleburan baja, dan sebagainya. Perbandingan antara konsentrasi H_2SO_4 dan SO_2 dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a) Jumlah uap air di udara.
- b) Waktu dimana kontaminan sulfur terdapat di udara.
- c) Jumlah partikel katalitik yang terdapat di udara.
- d) Jumlah sinar matahari.
- e) Jumlah pengendapan.

3) Pengaruh Sulfur Oksida terhadap Lingkungan

a) Pengaruh SO_x terhadap tanaman

Kerusakan tanaman oleh SO_2 dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu konsentrasi SO_2 dan waktu kontak. Kerusakan tiba-tiba (akut) terjadi jika kontak dengan SO_2 pada konsentrasi tinggi dalam waktu sebentar, dengan gejala beberapa bagian daun menjadi kering dan mati, dan biasanya warnanya memucat. Kontak dengan SO_2 pada konsentrasi rendah dalam waktu lama menyebabkan kerusakan kronis, yang ditandai dengan menguningnya warna daun, karena terhambatnya mekanisme pembentukan klorofil.

b) Pengaruh SO_x terhadap manusia

Pengaruh utama polutan SO_x terhadap manusia adalah iritasi sistem pernapasan, beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada konsentrasi SO_2 sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada konsentrasi 1-2 ppm. Polutan dianggap polutan yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit kronis pada sistem pernapasan dan kardiovaskular. Individu dengan gejala tersebut sangat sensitif terhadap

kontak dengan SO_2 , meskipun dengan konsentrasi yang relatif rendah, misalnya 0,2 ppm atau lebih.

c) Pengaruh SO_x terhadap benda lain

Kerusakan akibat polutan SO_2 terhadap bahan lain terutama disebabkan oleh asam sulfat yang diproduksi, jika SO_3 bereaksi dengan uap air di atmosfer. Salah satu pengaruh SO_2 terhadap bahan lain adalah terhadap cat, dimana waktu pengeringan dan pengerasan beberapa cat meningkat, jika mengalami kontak dengan SO_2 . Beberapa hal yang perlu diketahui mengenai korosi metal adalah sebagai berikut:

- (1) Kecepatan korosi meningkat pada daerah industri.
- (2) Kecepatan korosi meningkat pada musim gugur dan salju, karena polutan partikel dan sulfur oksida lebih terkonsentrasi dalam pembakaran bahan bakar untuk pemanasan.

4) Kontrol terhadap Polusi Sulfur Oksida

Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi dan mengontrol emisi SO_x adalah sebagai berikut:

- a) Penggunaan bahan bakar bersulfur rendah.
- b) Substitusi sumber energi lainnya untuk bahan pembakaran.
- c) Penghilangan sulfur dari bahan bakar sebelum pembakaran.
- d) Penghilangan SO_x dari gas buangan.

e. Partikel

1) Jenis dan Sifat Partikel

Polusi udara karena partikel-partikel tersebut merupakan masalah lingkungan yang perlu mendapat perhatian, terutama daerah perkotaan. Berbagai jenis

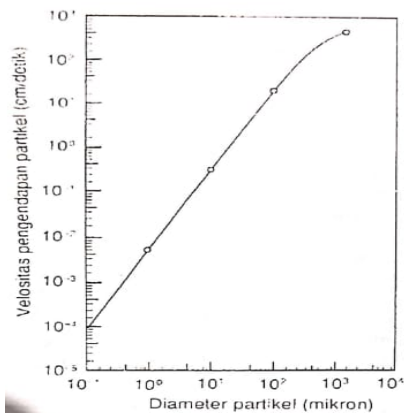
polutan partikel dan bentuk-bentuknya yang terdapat melayang di udara.

Tabel 2.9. Berbagai Komponen Partikel dan Bentuk yang Umum terdapat di Udara⁵⁹

Komponen	Bentuk
Karbon	
Besi	$\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$
Magnesium	MgO
Kalsium	CaO
Aluminium	Al_2O_3
Sulfur	SO_2
Titanium	TiO_2
Karbonat	CO_3
Silicon	SiO_2
Fosfor	P_2O_5
Kalium	K_2O
Natrium	Na_2O

Sifat partikel lainnya yang penting adalah kemampuannya sebagai tempat absorpsi (adsorpsi secara fisik) atau khemisorpsi (sorpsi disertai dengan interaksi kimia). Sifat ini merupakan fungsi dari luas permukaan yang pada umumnya luas untuk kebanyakan partikel. Jika molekul yang terabsorpsi tersebut larut di dalam partikel, maka keadaannya disebut absorpsi. Jenis sorpsi tersebut sangat menentukan tingkat bahaya dari partikel.

⁵⁹ Ferdiaz, Srikandi.1992. *Polusi Air dan Udara*. Sleman: PT Kanisius



Gambar 2.7 Hubungan antara Diameter Partikel dengan Velositas Pengendapan di dalam Udara Tidak Bergerak pada Suhu 0°C dengan Tekanan 760 mm (Densitas Partikel 1 g/cm³)⁶⁰

2) Sumber Polusi Partikel

Terdapat hubungan antara ukuran partikel polutan dengan sumbernya. Partikel yang berdiameter lebih besar dari 10 mikron dihasilkan dari proses-proses mekanis seperti erosi angin, penghancuran dan penyemprotan dan pelindasan benda-benda oleh kendaraan atau pejalan kaki. Partikel yang berukuran diameter diantara 1-10 mikron biasanya termasuk tanah, debu dan produk-produk pembakaran dari industri lokal dan pada tempat-tempat tertentu juga terdapat garam laut. Partikel yang mempunyai diameter antara 0,1-1 mikron terutama merupakan produk-produk pembakaran dan aerosol fotokimia. Partikel yang mempunyai diameter kurang dari 0,1 mikron belum diidentifikasi secara kimia, tetapi diduga dari sumber-sumber pembakaran.

Unit untuk menyatakan konsentrasi partikel adalah mikrogram per m³ (µg/m³). Untuk mengubah dari µg/m³

⁶⁰ Stoker, H. S dan Seager, S. I 1972. *Environmental Chemistry : Air and Water Pollution*. Scott, Foreman and Co., London

menjadi ppm dengan dasar volume, diperlukan data mengenai berat molekul partikel tersebut, karena komposisi partikel yang bervariasi, maka sulit untuk menentukan berat molekulnya.

3) Pengaruh Partikel terhadap Lingkungan

a) Pengaruh partikel terhadap tanaman

Pengaruh partikel terhadap tanaman terutama adalah dalam bentuk debunya, dimana debu tersebut jika bergabung dengan uap air atau air hujan gerimis, membentuk kerak yang tebal pada permukaan daun, dan tidak dapat tercuci dengan air hujan, kecuali dengan menggosoknya. Lapisan kerak tersebut akan mengganggu proses fotosintesis pada tanaman, karena menghambat masuknya sinar matahari dan mencegah pertukaran CO_2 dengan atmosfer.

b) Pengaruh partikel terhadap manusia

Polutan partikel termasuk ke dalam tubuh manusia terutama melalui sistem pernafasan, oleh karena itu pengaruh yang merugikan langsung. Faktor yang paling berpengaruh terhadap sistem pernapasan terutama adalah ukuran partikel, karena ukuran partikel yang menentukan seberapa jauh penetrasi partikel ke dalam sistem pernafasan. Partikel-partikel yang masuk dan tertinggal di dalam paru-paru mungkin berbahaya bagi kesehatan, karena tiga hal penting, yaitu:

- (1) Partikel tersebut mungkin beracun karena sifat-sifat kimia dan fisiknya.
- (2) Partikel tersebut mungkin bersifat *inert* (tidak bereaksi), tetapi jika tertinggal di dalam saluran pernapasan dapat mengganggu pembersihan bahan-bahan lain yang berbahaya.
- (3) Partikel-partikel tersebut mungkin dapat membawa molekul-molekul gas yang berbahaya, baik dengan cara mengabsorpsi

atau mengadsorpsi, sehingga molekul-molekul gas tersebut dapat mencapai dan tertinggal di bagian paru-paru yang sensitif. Karbon merupakan partikel yang umum dengan kemampuan yang baik untuk mengadsorpsi molekul-molekul gas pada permukaannya.

c) Pengaruh partikel terhadap bahan lain

Partikel-partikel yang terdapat di udara dapat mengakibatkan berbagai kerusakan pada berbagai bahan. Jenis dan tingkat kerusakan yang dihasilkan oleh partikel dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat fisik partikel tersebut. Kerusakan pasif terjadi jika partikel menempel atau mengendap pada bahan-bahan yang terbuat dari tanah, sehingga harus sering dibersihkan. Proses pembersihan sering mengakibatkan cacat pada permukaan benda-benda dari tanah tersebut. Kerusakan kimia terjadi jika partikel yang menempel bersifat korosif atau partikel tersebut membawa komponen lain yang bersifat korosif.

d) Pengaruh partikel terhadap radiasi solar dan iklim

Partikel yang terdapat di atmosfer berpengaruh terhadap jumlah dan jenis radiasi solar yang dapat mencapai permukaan bumi. Pengaruh ini disebabkan oleh penyebaran dan absorpsi sinar oleh partikel. Salah satu pengaruh utama adalah penurunan visibilitas. Iklim dapat dipengaruhi oleh polusi partikel dalam dua cara. Partikel dalam atmosfer dapat mempengaruhi pembentukan awan, hujan dan salju dengan cara berfungsi sebagai inti, dimana air mengalami kondensasi, selain itu penurunan jumlah radiasi solar yang mencapai permukaan bumi, karena adanya partikel dapat mengganggu keseimbangan panas pada atmosfer bumi.

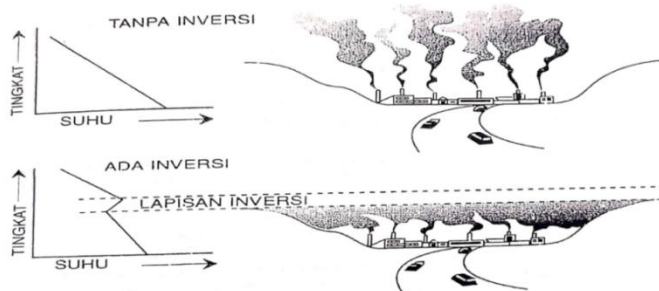
4) Kontrol terhadap Emisi Partikel

Teknik untuk mengontrol emisi partikel semua didasarkan pada penangkapan partikel sebelum dilepaskan ke atmosfer. Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel. Beberapa alat yang digunakan untuk tujuan tersebut diantaranya sistem *ruang pengendapan gravitasi*, *kolektor siklon*, *penggosok/sikat basah* dan *presipitator elektrostatik*.

f. Inversi Suhu dan Pengaruh Rumah Kaca

1) Inversi Suhu

Inversi suhu dapat mengakibatkan masalah polusi yang serius, bukan karena merupakan sumber polusi, tetapi karena dapat menyebabkan polutan terkumpul di dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar. Kadang-kadang pola gerakan udara yang normal terganggu jika suatu lapisan udara dingin, misalnya dari laut, mengalir ke dalam lapisan yang rendah dan menggantikan udara yang lebih hangat sampai lapisan berikut di atasnya. Jika hal ini terjadi, suhu udara akan menurun dari permukaan bumi sampai lapisan tertentu (misalnya sampai 1500 atau 300 ft). Keadaan normal ini kemudian digantikan dengan keadaan yang tidak normal dimana suhu udara, misalnya dari 300 ft sampai 500 atau 600 ft naik secara berlapis. Di atas lapisan ini, keadaan suhu tetap normal yaitu suhu akan menurun dengan semakin tingginya lapisan atmosfer. Suhu pada lapisan tersebut (misalnya diantara 300 ft sampai 500 atau 600 ft) disebut lapisan inversi.

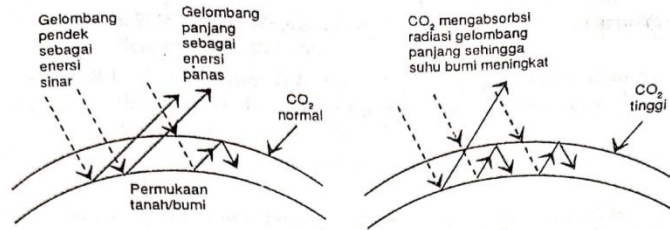


Gambar 2.8 Inversi Suhu dan Polusi Udara yang Terperangkap di Lapisan Inversi⁶¹

2) Pengaruh Rumah Kaca

Pengaruh rumah kaca terbentuk dari interaksi antara CO_2 atmosfer yang jumlahnya meningkat dengan radiasi solar, meskipun sinar matahari terdiri dari bermacam-macam panjang gelombang, kebanyakan radiasi yang mencapai permukaan bumi terletak pada kisaran sinar tampak (*visible*). Hal ini disebabkan ozon, yang terdapat secara normal tanpa putus atmosfer bagian atas, menyaring sebagian besar sinar ultraviolet (dengan panjang gelombang lebih pendek dari pada sinar tampak). Uap air atmosfer dan CO_2 mengabsorpsi sebagian besar sinar *infrared* (panjang gelombang lebih panjang dari pada sinar tampak) yang dapat dirasakan pada kulit kita sebagai panas. CO_2 berfungsi sebagai filter satu arah yang menyebabkan sinar tampak melewatinya dengan satu arah, tetapi menghambat sinar dengan panjang gelombang lebih untuk melaluinya dari arah yang berlawanan. Keadaan ini dapat dilihat pada **Gambar 2.10** H_2O dan ozon juga berfungsi sebagai filter atau penyaring seperti halnya CO_2 , tetapi konsentrasinya tidak banyak dipengaruhi oleh aktivitas manusia, sehingga pengaruhnya terhadap suhu atmosfer tidak nyata.

⁶¹ Ehrlich, P. R dan Ehrlich, A. H. 1970. *Population, Resources and Environment*. W. H. Freeman Co., dan Francisco



Gambar 2.9 Transformasi Sinar Radiasi yang terjadi pada Permukaan Bumi⁶²

4. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

Komponen berbahaya yang ada dalam berpolusi adalah unsur partikel yang sangat kecil dan halus, atau PM_{2.5}. Kendaraan, pabrik dan fasilitas industri mengeluarkan bahan tersebut. Perkiraan bahan PM_{2.5} memasuki bangunan dan paru-paru manusia lebih cepat masuk pada orang tua dan khususnya anak-anak karena lebih rentan. Anak-anak menghisap 50% lebih banyak udara per lb dari berat badannya dibandingkan dengan orang dewasa, maka risikonya menjadi tinggi, khususnya jika mereka menderita asma.

Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan pada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Parameter-parameter kualitas udara dan meteorologi di stasiun pemantauan adalah sebagai berikut:

- Molekul partikel tersuspensi, dalam hal ini partikel dengan ukuran 10µm (PM₁₀).
- Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Monoksida (CO), Ozon (O₃), dan Nitrogen Dioksida (NO₂).
- Parameter Meteorologi meliputi temperatur udara, kelembaban udara, radiasi sinar matahari, kecepatan dan arah hembusan angin dan durasi hembusan angin.

⁶² Wagner, R.H. 1971. *Environment and Man*. W.W. Norton and Co., Inc., New York.

Data hasil pemantauan kualitas udara ambien secara otomatis dan kontinyu dipublikasikan kepada masyarakat dalam bentuk Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Perhitungan nilai ISPU berdasarkan hasil pengukuran secara terus menerus selama 24 jam, rumusnya adalah:

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb} (Xx - Xb) + Ib$$

Dimana :

- I = angka ISPU.
- Ia = ISPU batas atas.
- Ib = ISPU batas bawah.
- Xa = Konsentrasi ambien atas.
- Xb = Konsentrasi ambien bawah.
- Xx = Konsentrasi nyata hasil pengukuran⁶³.

Perhitungan Standar Baku Pencemaran Udara menurut Keputusan Kepala Bapedal No.107 tahun 1997 Batas Indeks Satuan Pencemaran Udara dalam satuan SI sebagai berikut:

Tabel 2.10 Standar Baku Pencemaran Udara

Indeks Standar Pencemaran Udara	24 jam PM ₁₀ µg/m ³	24 jam SO ₂ µg/m ³	8 jam CO µg/m ³	1 jam O ₃ µg/m ³	1 jam NO ₂ µg/m ³
50	50	80	5	120	(2)
100	150	365	10	235	(2)
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57,5	1200	3750

Volume udara yang diambil dalam penelitian dapat dihitung dengan rumus berikut.

⁶³ Arifin, Zainal dan Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta

$$V = \frac{Q_{s1} + Q_{s2}}{2} \times t$$

Keterangan :

Q_{s1} = Laju awal terkoreksi pada pengukuran pertama ($m^3/menit$).

Q_{s2} = Laju awal terkoreksi pada pengukuran kedua ($m^3/menit$).

t = Durasi pengambilan *sampel* atau pengujian ($menit$).

V = Volume udara yang diambil (m^3)⁶⁴.

Untuk menghitung konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dengan menggunakan rumus berikut⁶⁵.

$$C = \frac{(W_1 - W_2) \times 10^6}{V}$$

Dengan :

C adalah Konsentrasi TSP ($\mu g/m^3$).

W_1 adalah Berat Filter awal (g).

W_2 adalah Berat Filter akhir (g).

V adalah Volumen (m^3).

10^6 adalah Konversi g ke μg .

$$C_1 = C_2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^P$$

Dengan :

P adalah faktor konversi dengan nilai antara 0.17 dan 0.2.

t_2 adalah lama pengambilan sampel.

t_1 adalah waktu dalam 24 jam.

C_1 adalah konsentrasi udara rata-rata dengan waktu pengambilan sampai selama 24 jam ($\mu g/m^3$).

⁶⁴ Nashihatul Afidah, "Analisis Hubungan Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) di Dalam dan di Luar Ruangan dan Faktor-Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus : PT Japfa So God Sidoarjo)" (Disertasi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, 2019), 48

⁶⁵ Rita Mukhtar, Isa Ansyori, dkk., "Perbandingan Pengukuran Konsentrasi Partikulat di Udara Ambien Menggunakan Alat High Volume Air Sampler dan Gent Stacked Filter Unit Sampler," *Jurnal Ecolab Vol. 9*, No. 1 Januari (2015): 19

Tabel 2.11 Kategori Indeks Pencemaran Udara⁶⁶

ISPU	TSP	PM _{2.5}	PM ₁₀	Kategori
0-50	0-75	0-15	0-50	Baik
51-100	76-260	16-65	51-150	Sedang
101-200	261-375	66-150	151-350	Tidak Sehat
201-300	376-625	151-250	351-420	Sangat Tidak Sehat
>300	>625	>251	>421	Berbahaya

WHO *Inter Regional Symposium on Criteria for Air Quality and Method of Measurement* telah menetapkan beberapa tingkat konsentrasi polusi udara dalam hubungan dengan akibatnya terhadap kesehatan maupun lingkungan pada tahun 1964 sebagai berikut:

- a. Tingkat I Konsentrasi dan waktu paparan yang tidak ditemui akibat apa-apa, baik secara langsung maupun tidak langsung.
- b. Tingkat II Konsentrasi yang mungkin dapat ditemui iritasi pada pancaindra, akibat berbahaya pada tumbuh-tumbuhan, pembatasan pemeliharaan atau akibat-akibat lain yang merugikan pada lingkungan (*adverse level*).
- c. Tingkat III Konsentrasi yang mungkin menimbulkan hambatan pada fungsi-fungsi faali yang vital serta perubahan yang mungkin dapat menimbulkan penyakit menurun atau pemendekan umur (*serious level*).
- d. Tingkat IV Konsentrasi yang mungkin menimbulkan penyakit akut atau kematian pada golongan populasi yang peka (*emergency level*).

Sedangkan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 1997 tentang Indeks Standar Pencemaran udara sebagai berikut.

⁶⁶ Windi Silvia, Djoko M. Hartono dan Irma Gusniani, “*Studi Kualitas Udara Parameter Total Suspended Particulate (Studi Kasus: UKM CV Ligar)*” *Jurnal UI*, (2013): 3

Tabel 2.12 Indeks Standar Pencemaran Udara⁶⁷

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika.
Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia maupun hewan, tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika.
Tidak Sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat tidak sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius.

⁶⁷ Nurbiantara, Setiawan. 2010. *Skripsi “ Pengaruh Polusi Udara terhadap Fungsi Paru pada Polisi Lalu Lintas ”*. Surakarta: Perpustakaan.uns.ac.id

5. Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara karena partikel debu biasanya menyebabkan penyakit kronis seperti *bronchitis* kronis, emfisema paru, asma *bronchial* dan bahkan kanker paru. Sedangkan bahan pencemaran gas yang terlarut dalam udara dapat langsung masuk ke dalam tubuh sampai ke paru-paru yang pada akhirnya diserap oleh sistem peredaran darah. Kadar Timbal (Pb) yang tinggi di udara dapat mengganggu pembentukan sel darah merah. Gejala keracunan dini mulai ditunjukkan dengan terganggunya fungsi enzim untuk pembentukan sel darah merah, yang pada akhirnya dapat menyebabkan gangguan kesehatan lainnya seperti anemia, kerusakan ginjal dan lain lain. Sedangkan keracunan Pb bersifat akumulatif. Keracunan gas CO timbul sebagai akibat terbentuknya karboksihemoglobin (COHb) dalam darah. Afinitas CO yang lebih besar dibandingkan oksigen (O₂) terhadap Hb menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh menjadi terganggu. Berkurangnya penyediaan oksigen ke seluruh tubuh ini akan membuat sesak napas dan dapat menyebabkan kematian, apabila tidak segera mendapatkan udara segar kembali. Sedangkan bahan pencemar udara seperti SO_x, NO_x, H₂S dapat merangsang saluran pernapasan yang mengakibatkan iritasi dan peradangan⁶⁸.

6. Pengendalian Pencemaran Udara

a. Penelitian dan Pemantauan

Pengendalian pengelolaan pencemaran udara perlu mempertimbangkan keserasian antara faktor-faktor sumber emisi, pengaruh/dampak, kondisi sosial, ekonomi dan politik serta melakukan pengukuran lapangan sesuai dengan kondisi. Langkah pertama, dalam pengelolaan pencemaran udara adalah dengan melakukan pengkajian/identifikasi mengenal macam sumber model dan pola penyebaran serta pengaruh/dampaknya. Sumber pencemaran udara yang sering dikenal dengan sumber emisi adalah tempat di mana pencemaran udara mulai dipancarkan ke udara. Langkah

⁶⁸ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

selanjutnya adalah mengetahui dan mengkomunikasikan tentang pentingnya pengelolaan pencemaran udara dengan mempertimbangkan keadaan sosial lingkungannya, yang berhubungan dengan demografi, kondisi sosial ekonomi, sosial budaya dan psikologi serta keseimbangan ekonomi. Juga perlu dukungan politik, baik dari segi hukum, peraturan, kebijakan maupun administrasi untuk melindungi pelaksanaan pemantauan, pengendalian dan pengawasan.

Untuk melakukan pengukuran lapangan dalam rangka pemantauan pencemaran udara diperlukan pemilihan metode secara tepat sesuai dengan kemampuan jaringan pengamatan, penempatan peralatan/instrumen yang diperlukan untuk pengambilan sampel dan kebutuhan peralatan beserta ahlinya untuk keperluan analisis.

b. Peraturan Perundangan

Upaya pengendalian pencemaran lingkungan, khususnya udara saat ini masih bersifat sektoral, baik legislatif maupun institusinya. Peraturan perundangan dalam kaitannya dengan upaya penanggulangan pencemaran yang bersifat nasional adalah Undang-Undang No. 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. Adapun bentuk peraturan berupa peraturan, instruksi atau keputusan menteri untuk tingkat pusat/departemen, sedangkan untuk tingkat daerah berupa peraturan daerah atau keputusan/instruksi Gubernur. Beberapa peraturan tentang upaya pengendalian pencemaran misalnya yang diterapkan untuk sektor industri, Sektor pertambangan dan Sektor transportasi.

c. Teknologi Pengendalian Pencemaran

Upaya teknologi pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan melalui:

1) Pengendalian pada sumbernya

Pengendalian pada sumbernya yaitu pengendalian pencemaran debu/partikel, pengendalian gas dan pengelolaan buangan kendaraan bermotor.

2) Pengendalian lingkungan

Suatu teknologi pengendalian pencemaran umumnya terkait dengan peraturan tentang baku mutu pencemaran, sehingga pemilihan alternatif dari bentuk teknologi pengendalian pencemaran tergantung pula dari ketat atau tidaknya peraturan. Pada umumnya teknologi pengendalian pencemaran akan mengacu kepada pembiayaan, sehingga hal tersebut akan terkait pula dengan ekonomi suatu negara. Upaya penanggulangan pencemaran udara dari segi teknologi pada prinsipnya mencakup dua masalah yaitu pengendalian pada sumbernya dan pengendalian lingkungannya. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan usaha pengendalian pada sumbernya merupakan usaha yang paling berhasil, namun akan lebih baik lagi apabila diikuti dengan pengendalian lingkungan.⁶⁹

7. Bahan Bakar Kendaraan

Transportasi didefinisikan sebagai suatu sistem yang terdiri dari fasilitas tertentu beserta arus dan sistem kontrol, yang memungkinkan orang dan barang dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain secara efisien dalam setiap waktu, untuk mendukung aktivitas manusia⁷⁰. Transportasi merupakan penyerap bahan bakar terbesar yang berasal dari sumber fosil yang langka dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, perlu dilakukan efisiensi penggunaan BBM, sehingga dapat meminimalisir dampak negatif dari perkembangan sistem transportasi. Sektor transportasi sangat menggantungkan pada BBM, sehingga 50% dari konsumsi BBM dunia. Transportasi jalan raya mengkonsumsi sekitar 80% dari konsumsi sektor transportasi. Dibandingkan dengan tahun 1990, pada tahun 2000 konsumsi

⁶⁹ Soedomo, Moestikahadi. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB

⁷⁰ Morlok, Edward K., "*Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*", (Jakarta: Erlangga, 1984)

BBM sektor transportasi dunia naik 25% dan diproyeksikan kenaikannya mencapai 90% sampai tahun 2030 (Departemen ESDM, 2004).

Penggunaan energi sektor transportasi dalam mendorong dan menunjang berbagai sektor, kenyataannya 90% berupa BBM yang cenderung tumbuh 8,6% per tahun yang lebih besar daripada konsumsi rumah tangga 3,7%, pembangkit listrik 4,6%, tetapi sedikit lebih kecil dari pertumbuhan industri 9,1%. Cadangan BBM berbasis fosil atau minyak bumi yang tidak terbarukan sudah sangat menipis, yaitu cadangan terbukti hanya sekitar 3,7% miliar *Barrel* (2008) dengan produksi pertahun 0,36 miliar barel atau hanya cukup untuk sekitar 11 tahun⁷¹. Hal ini apabila tidak ditemukan sumur minyak baru melalui eksplorasi energi. Transportasi jalan pengkonsumsi BBM terbesar di sektor transportasi utamanya solar dan bensin, yaitu mencapai 88%. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang cepat, 21,17% per tahun menyebabkan konsumsi BBM yang cukup besar dan menimbulkan penambahan pencemaran udara⁷².

Tidak bisa dipungkiri sekarang kendaraan bermotor sebagai alat transportasi yang sangat diminati di masyarakat. Bersamaan dengan itu muncul banyak jenis sepeda motor terutama jenis motor *skuter matic* yang dirasa paling mudah dan nyaman. Bahan bakar minyak yang dipakai yaitu bahan bakar minyak jenis Premium, Peralite, Pertamina, dan Pertamina Plus⁷³.

Pada umumnya kendaraan bermotor menggunakan bahan bakar bensin yang menghasilkan emisi gas buang kendaraan bermotor dan menimbulkan pencemaran udara.

⁷¹ Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. 2010. *Naskah Kebijakan Energi*. Jakarta: DEN RI

⁷² .Budi sitorus, R.Didiet Rachmat Hidayat, dan Oce Prasetya. 2014. Pengelolaan Penggunaan Bahan Bakar Minyak yang Efektif pada Transportasi Darat. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)* Vol 01 No 2, Juli 2014

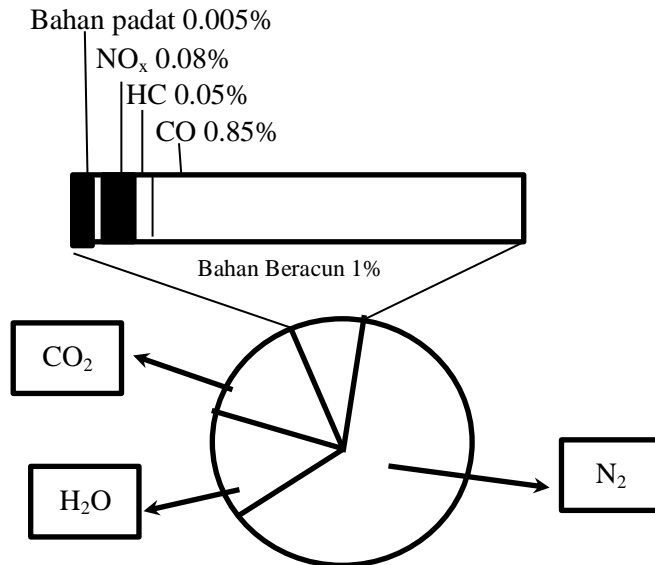
⁷³ Moh.Wildan Habibi, “Analisis Pengguna Bahan Bakar Bensin Jenis Peralite dan Pertamina pada Mesin Bertorsi Besar (Honda Beat FI 110 CC)” (Disertasi, Universitas Nusantara PGRI, 2016)

Emisi gas buang kendaraan bermotor menghasilkan gas Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO), *Tetraethyl Lead* (TEL), Sulfur Dioksida (SO₂), dan Hidrokarbon.⁷⁴ Agar mesin dapat bekerja dengan baik, keberadaan TEL di dalam bensin sangat dibutuhkan⁷⁵. TEL digunakan untuk menaikkan nilai oktan pada bahan bakar bensin. Di Indonesia berdasarkan nilai oktannya bahan bakar bermesin bensin yang dikeluarkan Pertamina terbagi menjadi Pertamax racing dengan nilai oktan 100, Pertamax turbo dengan nilai oktan 98, Pertamax dengan nilai oktan 92, Pertalite dengan nilai oktan 90, dan Premium dengan nilai oktan 88. Semakin tinggi angka oktan, maka harga perliternya pun umumnya lebih tinggi (mahal). Namun, belum tentu jika mengisi bensin beroktan tinggi pada mesin mobil atau motor akan menghasilkan tenaga yang lebih tinggi pula. Perlu diketahui, bahwa setiap jenis mesin mobil ataupun sepeda motor memiliki spesifikasi mesin yang berbeda-beda⁷⁶.

⁷⁴ Soedomo, M. 2001. Pencemaran Udara. Bandung : ITB

⁷⁵ Palar, H. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta : Rineka Cipta

⁷⁶ Amrullah Sungkono dan Eko Prastianto. *Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium dan Pertamax terhadap Prestasi Mesin*. (Universitas Muslim Indonesia : Universitas Muslim Indonesia, 2018)



Gambar 2.10. Konsentrasi Emisi Kendaraan Bermotor⁷⁷

Dari gambar tersebut sebagian besar gas buangan terdiri dari 72% N₂, 18.1% CO₂, 8.2% H₂O, 1.2% Gas Argon (gas mulia), 1.1% O₂, dan 1.1% Gas beracun yang terdiri dari 0.13% NO_x, 0.09% HC dan 0.9% CO. Selain dari gas buang unsur HC dan CO, emisi dapat keluar melalui penguapan yang terjadi pada tangki bahan bakar saat pengisian bahan bakar kendaraan. Pada motor bensin besarnya emisi gas buang seiring dengan besarnya penambahan jumlah campuran udara dan bahan bakar, karena masuk ke dalam silinder⁷⁸.

Pada motor diesel, besarnya emisi dalam bentuk opasitas (ketebalan asap) tergantung banyaknya bahan bakar yang disemprotkan (dikaburkan) ke dalam silinder, karena pada motor diesel yang dikompresikan adalah udara murni. Dengan kata lain, semakin kaya campuran maka semakin besar konsentrasi NO_x, CO dan asap. Sementara itu, semakin kurus campuran konsentrasi NO_x, CO dan asap juga semakin

⁷⁷ Swisscontact, *Analisis Motor Bensin berdasarkan Hasil Uji Emisi Gas Buang* Swisscontact Jakarta (2001)

⁷⁸ Arifin, Zainal dan Sukoco. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. (Bandung: Alfabeta, 2009)

kecil⁷⁹. **Catatan:** 100% CO yang ada di udara adalah hasil pembuangan dari mesin diesel sebesar 11% dan mesin bensin 89% CO adalah Karbon Monoksida, HC (*Hydrocarbon*), NO_x adalah istilah dari Oksida-Oksida Nitrogen yang digabung dan dibuat satu (NO, NO_x, N₂O). Polusi emisi buang dari mesin diesel dapat digolongkan berupa partikulat, residu karbon, pelumas tidak terbakar, sulfat, dan lain-lain⁸⁰.

Gas buang mesin diesel sebagian besar berupa partikulat berada pada dua fase yang berbeda, namun saling menyatu, yaitu fase padat terdiri dari residu/kotoran, abu, bahan adiktif, bahan korosif, dan keausan mental. Fase cair terdiri dari minyak pelumas tak terbakar. Gas buangan berupa cair akan meresap ke dalam fase pada, gas ini disebut partikel. Partikel-partikel tersebut berukuran mulai dari 100 mikron hingga kurang dari 0.01 mikron. Partikulat yang berkurang dari 10 mikron memberikan dampak bagi visibilitas udara karena partikel tersebut akan memudahkan cahaya. Berdasarkan ukurannya, partikulat dikelompokkan menjadi tiga, sebagai berikut:

- a. 0.01-10 µm disebut partikel *smog*/kabut/asap.
- b. 10-50 µm disebut dengan *dust*/debu.
- c. 50-100 µm disebut dengan *ash*/abu.

Partikulat pada gas buangan mesin diesel berasal dari partikel susunan bahan bakar yang masih berisikan kotoran kasar (debu/abu). Hal itu dikarenakan pemrosesan bahan bakarnya kurang baik. Bahan bakar diesel di Indonesia banyak mengandung kotoran, misalnya solar.

Biasanya solar tidak berwarna bening, namun berwarna agak gelap. Ini menandakan bahwa terdapat kotoran di dalam bahan bakar. Dengan demikian, pada saat terjadi pembakaran, kotoran tersebut terurai dari susunan partikel yang lain dan tidak terbakar. Semakin banyak residu dalam

⁷⁹ ibid

⁸⁰ ibid

bahan bakar (dengan mesin secanggih apapun) akan menghasilkan gas buang dengan kepulan asap hitam⁸¹.

8. Suhu

Temperatur (suhu) adalah salah satu dari tujuh besaran pokok SI. Fisikawan mengukur suhu dalam **Skala Kelvin** yang unit saryannya disebut Kelvin⁸². Untuk mengetahui konsep suhu, perlu didefinisikan dua istilah yang sering digunakan yaitu kontak termal dan keseimbangan termal. Keseimbangan termal adalah situasi dimana dua benda tidak akan bertukar energi melalui kalor ataupun radiasi elektromagnetik jika mereka berada dalam kontak termal. Sedangkan kontak termal adalah pertukaran energi diantara dua benda melalui proses yang diakibatkan oleh suhu. Jadi, Suhu adalah sifat yang menentukan apakah sebuah benda berada dalam keseimbangan termal dengan benda lainnya⁸³.

Suatu percobaan sederhana disarankan oleh John Locke pada tahun 1690. Seseorang diminta untuk mencelupkan salah satu tangannya ke dalam wadah berisi air dingin dan tangan lainnya ke dalam wadah berisi air panas. Setelah itu keduanya bersama-sama dimasukkan kedalam air yang kepanasannya diantara yang panas dan dingin tersebut. Air terasa lebih hangat oleh tangan pertama dan terasa lebih sejuk oleh tangan kedua. Penilaian kita mengenai suhu menjadi keliru. Oleh karena itu, kita membutuhkan alat untuk mengukur suhu⁸⁴.

Alat untuk mengukur suhu dan besarnya disebut dengan termometer⁸⁵. Adapun jenis-jenis termometer sebagai berikut.

a. Termometer Zat Cair

⁸¹ ibid

⁸² David Halliday, Robert Resnick dan Jeari Walker. *Fisika Dasar Edisi ke tujuh jilid 1*. (Jakarta: Erlangga, 2010) hlm. 514

⁸³ Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. (Jakarta: Salemba Teknika, 2010) hlm. 3

⁸⁴ Ainie Khuriah R.S. *Termodinamika*. (Universitas Diponegoro: Universitas diponegoro, 2007) hlm. 21

⁸⁵ Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat, dan Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan. *Suhu, Kalor, dan Energi di Sekitarku-Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Paket B Setara SMP/MTs*. (Jakarta, 2017) hlm. 3

- 1) Termometer Laboratorium
Bentuknya panjang dengan skala dari -10°C sampai 110°C menggunakan rakda atau alcohol.
 - 2) Termometer Suhu Badan
Termometer ini digunakan untuk mengukur suhu badan manusia. skala yang ditulis antara 35°C dan 42°C .
- b. Termometer Zat Padat
- 1) Termometer Bimetal
Termometer Bimetal merupakan thermometer yang menggunakan logam sebagai bahan untuk menunjukkan adanya perubahan suhu dengan prinsip logam akan memuai jika dipanaskan dan menyusut jika didinginkan.
 - 2) Termokopel
Termometer yang terdiri dari dua jenis logam yang dihubungkan dan membentuk rangkaian tertutup. Pengukuran suhu berdasarkan pada perubahan besarnya aliran listrik pada kawat⁸⁶.

Prinsip kerja termometer yaitu ketika suhu naik, volume zat dalam tabung termometer akan bertambah dan bergerak naik keatas pipa kapiler. Jika kenaikan atau perubahan suhu semakin besar maka ketinggian zat cair dalam tabung akan semakin bertambah. Skala yang terdapat dalam tabung kaca dapat menunjukkan pertambahan suhu tersebut.

Untuk menentukan skala suhu mula-mula dipilih sifat termometrik X yang besarnya berubah dengan perubahan suhu. Untuk mendefinisikanskala suhu, kita dapat memilih hubungan antara suhu T dari suatu thermometer berbanding lurus dengan sifat termometrik X . Setiap sistem yng berada pada kesetimbangan termal dengan thermometer tersebut berlaku:

$$T = aX$$

⁸⁶ Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat, dan Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan. *Suhu, Kalor, dan Energi di Sekitarku-Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Paket B Setara SMP/MTs*. (Jakarta, 2017) hlm. 3-4

Adalah sebuah tetapan yang nilainya masih harus dihitung. Untuk menghitung a harus ditentukan titik tetap terlebih dahulu. Pada titik tetap ini semua thermometer harus memberikan pembacaan yang sama untuk suhu T . Sejak tahun 1954 hanya ada satu titik tetap standard yaitu titik *tripel air*. Titik tripel air adalah suhu pada saat es, air dan uap dalam keadaan seimbang. Secara kehendak titik tripel ini ditetapkan 273,16 K. Dengan demikian a dapat ditentukan, dari persamaan diatas akan diperoleh:

$$a = \frac{273,16 \text{ K}}{X_{tp}}$$

X_{tp} adalah besaran bersifat termometrik pada titik tripel air. Jadi, untuk setiap thermometer berlaku hubungan berikut⁸⁷.

$$T(X) = 273,16 \text{ K} \frac{X}{X_{tp}}$$

Sejak tahun 1954, suhu 273,16 K ditetapkan sebagai harga suhu pada saat bentuk padat, cair dan gas dari air dalam kesetimbangan. Keadaan pada saat tiga fase zat murni dalam kesetimbangan disebut *titik tripel zat*. Titik tripel air adalah 0,01 K (pada 1 atm) lebih tinggi dari titik es/titik beku normal air. Jadi, air membeku pada 273,15K yang didefinisikan sebagai 0°C pada skala suhu *Celsius*. Hubungan antara skala Kelvin dengan skala centigrade ditulis:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15^{\circ}$$

Dua skala lain yang bisa digunakan dalam keteknikan di AS dan Inggris adalah suhu *Rankine* T_R (ditulis $^{\circ}\text{R}$) *Fahrenheit* (ditulis $^{\circ}\text{F}$). Hubungan antara skala suhu Rankine dan suhu Kelvin dituliskan sebagai:

$$T(^{\circ}\text{R}) = \frac{9}{5} T_K$$

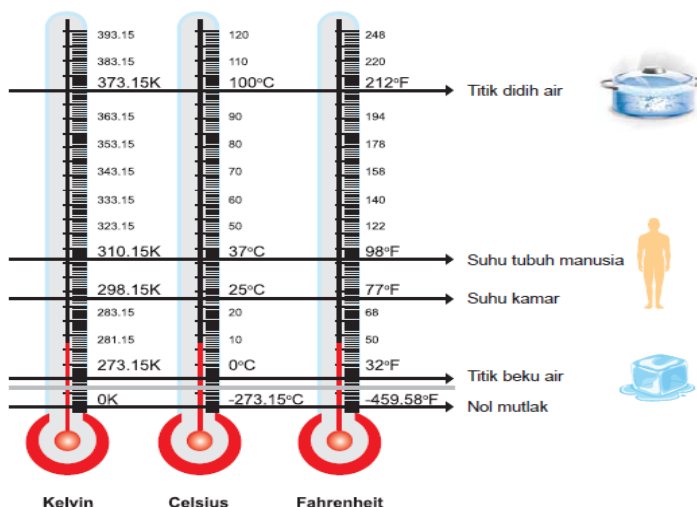
Sedangkan hubungan suhu dalam skala *Fahrenheit* T_F dengan Rankine dan skala suhu *Celsius*, dinyatakan sebagai⁸⁸:

$$T(^{\circ}\text{F}) = (T_R - 459,67^{\circ})R = \left(\frac{9}{5} T_C + 32^{\circ}\right)C$$

⁸⁷ Ainie Khuriah R.S. *Termodinamika*. (Universitas Diponegoro: Universitas diponegoro, 2007) hlm. 23-24

⁸⁸ Ibid, hln.25

Skala suhu sebuah thermometer ditetapkan dengan patokan titik bawah yaitu dengan memasukkan termometer ke dalam wadah berisi es dan suhu air yang mendidih sebagai titik tetap atas pada tekanan 1 atmosfer. Terdapat 4 macam skala thermometer⁸⁹, yaitu Celcius, Fahrenheit, Reamur dan Kelvin. Perbedaan antara skala itu adalah angka pada titik tetap bawah dan titik tetap atas pada skala termometer tersebut⁹⁰.



Gambar 2.11 Skala Suhu dari Nol Mutlak sampai Titik Didih⁹¹

a. Skala Celcius

Pada skala celcius digunakan titik lebur es murni sebagai titik bawah ditandain dengan angka 0. Sedangkan untuk menyatakan titik tetap atas digunakan titik didih air pada tekanan atmosfer dan ditandai dengan angka 100, sehingga ada 100 pembagian skala.

⁸⁹ Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. (Jakarta: Salemba Teknika, 2010) hlm. 136

⁹⁰ Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat, dan Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan. *Suhu, Kalor, dan Energi di Sekitarku-Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Paket B Setara SMP/MTs*. (Jakarta, 2017) hlm. 4

⁹¹ Ibid, hlm. 4

b. Skala Kelvin

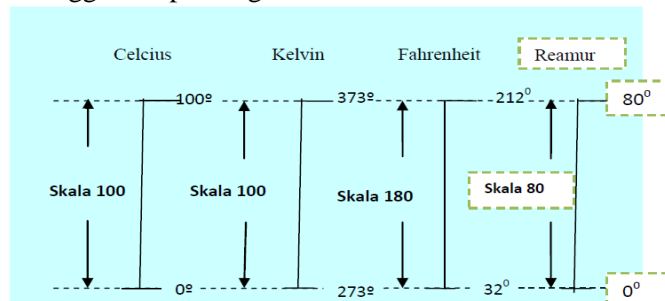
Pada skala kelvin penentuan nol derajat digunakan suhu terendah yang dimiliki oleh suatu partikel yang setara dengan -273°C , yaitu keadaan dimana energi kinetik partikel sama dengan nol, sehingga tidak ada panas yang terukur. Setiap satu skala kelvin sama dengan satu skala celcius, sehingga titik tetap bawah dan titik tetap atas skala kelvin masing-masing adalah 273K dan 373K. Pada kelvin tidak ada suhu mutlak atau skala termodinamika, karena kelvin sudah menjadi ketetapan satuan SI.

c. Skala Reamur

Memiliki titik didih air 80°R dan titik bekunya 0°R . Rentang temperaturnya berada pada temperature 0°R - 80°R dan dibagi dalam 80 skala.

d. Skala Fahrenheit

Pada skala Fahrenheit penentuan suhu nol derajat digunakan suhu campuran es dan garam. Titik bawah dan titik tetap atas dinyatakan pada skala 32 dan 212, sehingga 180 pembagian skala.



Gambar 2.12 Perbandingan Skala Celcius, Kelvin, Fahrenheit dan Reamur

Adapun perbandingan skala suhu sebagai berikut⁹²:

$$\text{Skala C} : \text{Skala R} : \text{Skala F} : \text{Skala K} = 100 : 80 : 180 : 100$$

$$\text{Skala C} : \text{Skala R} : \text{Skala F} : \text{Skala K} = 5 : 4 : 9 : 5$$

$$t_C : t_R : (t_F - 32) : (t_K - 273) = 5 : 4 : 9 : 5$$

⁹² Ibid, hlm. 5

Contoh. Tentukan $78^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots \text{K}$

Jawab. Dengan menggunakan persamaan perbandingan suhu diperoleh:

$$t_R = t_C + 273 = 78 + 273 = 361\text{K}$$

9. Alat yang digunakan dalam Penelitian
 - a. Alat Pengukur Polusi atau Pencemaran Udara
 - 1) Alat AWQMS-Pro



Gambar 2.13 Alat Ukur Polusi udara AWQMS_Pro

Alat polusi udara ini dinamakan AWQMS-Pro. Alat ini tidak hanya mendeteksi kualitas udara, namun juga dapat mendeteksi cuaca, seperti kecepatan udara, panas matahari dan lain-lain. Parameter alat (dapat menyesuaikan kebutuhan) antara lain CO, NO₂, SO₂, O₃, CO₂, VOC, PM_{2,5}, PM₁₀, *Wind Speed*, *Wind Direction*, *Temperature*, *Humidity*, *Air Pressure*, *Rain*, *Solar Radiation*, dan sebagainya. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) yang terbaru, parameter yang diujikan adalah partikulat PM₁₀, partikulat PM_{2,5}, karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), ozon (O₃), dan Hidrokarbon (HC)⁹³.

- 2) *Portable Planktonic Bacteria Sampler*

⁹³ Bima, Instrumen. 2020. *AWQMS-Pro – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Kamis, 16 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/awqms-pro-alat-ukur-ispu/>



Gambar 2.14 Alat Ukur Polusi Udara *Portable Planktonic Bacteria Sampler*

PBS-E *Planktonic Bacteria Sampler* adalah alat sampling penghisap dengan *multi hole* efisiensi tinggi yang dirancang sesuai dengan *Anderson Particle Impact Principle*⁹⁴.

3) *Portable HVAS (High Volume Air Sampler)*



Gambar 2.15 Alat Ukur Polusi Udara HVAS

Portable HVAS adalah alat sampling di udara *indoor* (dalam ruangan) maupun *outdoor* (luar ruangan) untuk mengukur polutan atau partikel lingkungan, uji coba nuklir dan *biohazard*, industri, pemerintah dan militer, studi dan bahaya udara ranjau, debu pabrik, analisis kimia, radiologis dan toksikologi, serta jenis penelitian lainnya dalam mengontrol kualitas dan aplikasi pengujian, yang sangat ringan, sehingga mudah dibawa kemana-mana.

⁹⁴ Bima, Instrumen. 2020. *Portable Planktonic Bacteria Sampler - Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/portable-planktonic-bacteria-sampler-norda-type-pbs-e/>

Alat ini digunakan dalam atmosfer normal dan non-eksplosif⁹⁵.

4) *HAZ-SCANNER Air Quality Monitoring System Portable*



Gambar 2.16 Alat Ukur Polusi Udara HAZ-SCANNER

HAZ-SCANNER dengan desain yang tahan akan cuaca ekstrim serta ringan untuk dibawa. Namun, perlunya penjagaan yang ketat pada alat ini apabila dibawa ke lapangan. Alat ini dapat menampilkan kadar zat-zat di udara secara langsung dan berkala. Selain *portable*, alat ini secara bersamaan dapat mengukur $PM_{2,5}$ dan PM_{10} . Jenis gas yang dapat dipantau dengan alat ini adalah ammonia, metana, karbon dioksida, karbon monoksida, ozon, sulfur dioksida, dan lainnya, serta menampilkan temperatur udara sekitar dalam hitungan Fahrenheit. Alat ini juga dilengkapi dengan sensor yang telah dikalibrasi, kabel data, aplikasi khusus dalam USB, dan masih banyak lagi⁹⁶.

5) *Air Sampler Impinger Portable*

⁹⁵ Bima, Instrumen. 2020. *Portable HVAS (High Volume Air Sampler – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/portable-hvas-high-volume-air-sampler-staplex/>

⁹⁶ Bima, Instrumen. 2020. *HAZ-SCANNER – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/haz-scanner-him-6000-air-quality-monitoring-system/>



Gambar 2.17 Alat Ukur Polusi Udara Air Sampler Impinger Portable

Air Sampler Impinger tipe HU-POT adalah alat untuk mengambil sampling 6 gas di udara ambien secara bersamaan melalui media basah (media tangkap dengan *absorbent*), sehingga dapat mengukur polutan atau debu udara di dalam maupun luar ruangan⁹⁷.

6) *Digital HVAS (High Volume Air Sampler)*



Gambar 2.18 Alat Ukur Polusi Udara Digital HVAS

High Volume Air Sampler (HVAS) adalah alat yang berfungsi untuk pengambilan sampel udara di dalam atau di luar ruangan menggunakan *Mass Flow Control* (MFC), sehingga mampu mengukur pengukuran $PM_{2,5}$, PM_{10} , dan TSP selama 24 jam secara terus menerus. Alat ini memiliki motor berkecepatan tinggi, dengan pelindung segala cuaca sehingga membuat tahan lama, dan komponen elektronik *ruggedized* untuk pengambilan sampel

⁹⁷ Bima, Instrumen. 2020. *Air Sampler Impinger Portable – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/air-sampler-impinger-lengkap/>

yang akurat. *Volumetric Flow Control* (VFC) pada HVAS didukung dengan pelindung yang memastikan permukaan filter bersandar pada posisi horizontal. Desain aerodinamis ini memungkinkan pengumpulan partikel untuk $PM_{2,5}$, dan PM_{10} atau TSP⁹⁸.

7) *AQmesh-Air Quality Monitoring System Device*



Gambar 2.19 Alat Ukur Polusi Udara *AQmesh Device*

AQmesh Device adalah alat untuk mengukur polutan utama di udara ambien, baik di luar maupun di dalam ruangan. Alat ini menggunakan teknologi sensor kecil terbaik yang dikombinasikan dengan pengolahan data yang berasal dari perbandingan global yang luas dengan data referensi. Alat ini didesain dengan Peraturan Pemerintah dalam pengukuran ambien yang mengacu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) yang terbaru, parameter yang diujikan adalah partikulat PM_{10} , partikulat $PM_{2,5}$, karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2),

⁹⁸ Bima, Instrumen. 2020. *Digital HVAS (High Volume Air Sampler – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/hvas-high-volume-air-sampler/>

ozon (O_3), dan hidrokarbon (HC). Berikut adalah data *monitoring AQmesh*⁹⁹.



Gambar 2.20 Data Monitoring AQmesh

8) Ambient Air Monitoring



Gambar 2.21 Alat Ukur Polusi Udara Ambient Air Monitoring

Alat ini berfungsi untuk mengukur kualitas udara yang pada daerah tertentu. Ada berbagai tempat yang dapat diukur dengan alat ini, sebut saja di pusat kota. Kualitas udara yang dimaksud adalah kualitas udara ambien local, dimana udara yang ada di satu tempat dapat memiliki kualitas yang menurun diakibatkan oleh sejumlah faktor, misalnya adalah adanya kendaraan diesel ataupun karena udara bercampur dengan emisi pembangkit listrik. Zat udara yang dapat dipantau melalui alat ukur ini adalah deposisi debu, kandungan nitrogen, yaitu mono hydrogen yang menjadi salah satu zat buangan dari adanya pembakaran pada suhu yang sangat tinggi. Alat ini berhubungan dengan usaha pemantauan

⁹⁹ Bima, Instrumen. 2020. *AQmesh- Air Quality Monitoring System Device – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/air-quality-monitoring-aqmesh-device/>

lingkungan, misalnya pemantauan kadar debu di udara di daerah Pertambangan.

Pemerintah telah menunjukkan konsen mereka terhadap upaya pemantauan lingkungan termasuk salah satunya adalah pemantauan kualitas udara, dengan mengeluarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara. Dalam Undang-Undang ini, diatur beberapa jenis debu dan gas dengan kadar mereka untuk mengontrol suatu daerah dengan indikator kualitas udaranya¹⁰⁰.

Berdasarkan beberapa alat di atas, dengan ini peneliti akan menggunakan alat ukur polusi udara Digital HVAS.

b. Alat Pengukur Suhu



Gambar 2.22 Alat Ukur Suhu yang digunakan

c. Alat untuk Bahan Bakar Kendaraan

Adapun alat bantu untuk mengukur bahan bakar kendaraan, sebagai berikut.

1. Genset 4 Tak untuk Bahan Bakar Premium, Paltalite dan Pertamina.

¹⁰⁰ Alat, Uji. 2020. *Ada Beragam Alat Uji Lingkungan yang Perlu Kita Tahu*. Kucari.com dilihat: Senin, 21 Desember 2020 <https://www.kucari.com/alat-uji-lingkungan/>



Gambar 2.23 Alat Ukur Jumlah Bahan Bakar Kendaraan Jenis Premium, Peralite dan Pertamina

2. Traktor (edet) untuk Bahan Bakar Kendaraan Jenis Bio Solar.



Gambar 2.24 Alat Ukur Jumlah Bahan Bakar Kendaraan Jenis Bio Solar

B. Pengajuan Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini ada dua, adalah sebagai berikut:

Hipotesis 1

H_0 : tidak terdapat pengaruh polusi udara akibat bahan bakar kendaraan.

H_a : terdapat pengaruh polusi udara akibat bahan bakar kendaraan.

Hipotesis 2

H_0 : tidak terdapat pengaruh perubahan suhu akibat bahan bakar kendaraan.

H_a : terdapat pengaruh perubahan suhu akibat bahan bakar kendaraan.

DAFTAR RUJUKAN

Buku

- Anie Khuriah R.A. *Termodinamika*. (Universitas Diponegoro: Universitas Diponegoro, 2010)
- Arifin, Zainal dan Sukoco. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. (Bandung: Alfabeta, 2009)
- David haliday, Robert Reznick dan Jeari Walker. *Fisika Dasar ke Tujuh Jilid 1*. (Jakarta: Erlangga, 2010)
- Ferdiaz, Srikandi, *Polusi Air dan Udara*, (Sleman: PT Kanisius, 1992)
- Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat, dan Direktorat Pembinaan Keaksaraan dan Kesetaraan. *Suhu, Kalor, dan Energi di Sekitarku-Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Paket B Setara SMP/MTs*. (Jakarta, 2017)
- Machdar, Izarul, *Pengantar Pengendalian Pencemaran (Pencemaran Air, Pencemaran Udara dan Kebisingan)*. (Sleman: Deepublish (CV Budi Utama), 2018)
- Martono Nanang, *Metode Penelitian Kuantitatif, Analisis Isi dan Analisis Data Sekunder Edisi Revisi*. (Depok: Rajagarfindo Persada, 2012)
- Morlok, Edward K., *Pengantar Teknik dan Pperencanaan Transportasi*. (Jakarta: Erlangga, 1984)
- Notoatmojo Soekidjo, *Metodologi Penelitian Kesehatan*. (Jakarta: PT. Rineka Cipta, 2010)
- Parlah H., *Perencanaan dan Toksikologi Logam Berat*, (Jakarta: Rineka Cipta, 2008)
- Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. (Jakarta: Salemba Teknika, 2010)
- Soedomo Moestikahadi, *Pencemaran Udara*, (Bandung: ITB, 2001)

Sugiyono, Agus, “*Strategi Penggunaan Energi di Sektor Transportasi.*” (Bandung: BPPT, 1998)

Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif*, (Bandung: Alfabeth, 2008)

Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, (Bandung: Alfabeta, 2013)

Sugiyono, *Metode Penelitian Kombinasi (Mix Methods)*, (Bandung: Alfabeta, 2015)

Sugiyono, Agus, “*Strategi Penggunaan Energi di Sektor Transportasi.*” (Bandung: BPPT, 1998)

Suliyanto, *EKONOMETRIKA TERAPAN: Teori & Aplikasi dengan SPSS*. (Yogyakarta: Andi, 2011)

Wardhana, Wisnu A., *Dampak Pencemaran Lingkungan*. (Yogyakarta : Penerbit Andi Offset, 2004)

Yuberti dan Antomi Saregar, *Pengantar Metodologi Penelitian Pendidikan Matematika & Sains*. Bandar Lampung: AURA, 2017)

Internet

Alat Uji. 2020. *Ada Beragam Alat Uji Lingkungan yang Perlu Kita Tahu*. Kucari.com dilihat: Senin, 21 Desember 2020 <https://www.kucari.com/alat-uji-lingkungan/>

Bima, Instrumen. 2020. “*Air Sampler Impinger Portable – Alat Ukur ISPU*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/air-sampler-impinger-lengkap/>

Bima, Instrumen. 2020. *AQmesh- Air Quality Monitoring System Device – Alat Ukur ISPU*. Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/air-quality-monitoring-aqmesh-device/>

- Bima, Instrumen. 2020. “*AWQMS-Pro – Alat Ukur ISPU*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Kamis, 16 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/awqms-pro-alat-ukur-ispu/>
- Bima, Instrumen. 2020. “*Digital HVAS (High Volume Air Sampler – Alat Ukur ISPU)*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/hvas-high-volume-air-sampler/>
- Bima, Instrumen. 2020. “*HAZ - SCANNER – Alat Ukur ISPU*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/haz-scanner-him-6000-air-quality-monitoring-system/>
- Bima, Instrumen. 2020. “*Portable HVAS (High Volume Air Sampler – Alat Ukur ISPU)*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/portable-hvas-high-volume-air-sampler-staplex/>
- Bima, Instrumen. 2020. “*Portable Planktonic Bacteria Sampler - Alat Ukur ISPU*” Jakarta: Cakrawala. Dilihat : Senin, 21 Desember 2020 <https://cbinstrument.com/portable-planktonic-bacteria-sampler-norda-type-pbs-e/>
- BMKG. 2020. “*Perubahan Iklim*” BMKG. Dilihat: Kamis, 13 September 2020 Pukul 21.30 WIB pm <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim>
- ISPU. 2020. “*Data ISPU Jumlah Hari Baik*” ISPU. Dilihat: 13 September 2020 Pukul 15.00 WIB am <http://iku.menlhk.go.id/aqms/arsip>
- Rosidin. 2018. *Transportasi Qur’ani Tafsir Tarbawi Terma Rakiba dan Derivasinya*. Dialog Ilmu. Dilihat: Sabtu, 07 Juli 2018 <https://www.dialogilmu.com/2018/07/transportasi-dalam-perspektif-alquran.html>
- Uswatun, Hasanah. 2014. *Thermo Hygro (Alat Pengukur Suhu Udara dan Kelembaban)*. Digital Meter Indonesia by ukurdanuji. Dilihat: 16 Mei 2014 <https://digital-meter-indonesia.ciom/thermo-hygro-alat-pengukur-suhu-udara-dan-kelembaban/>

Wikipedia. 2021. *Bahan Bakar*. Wikipedia.org dilihat: 02 Februari 2021 pukul 07:21 WIB am
https://id.m.wikipedia.org/wiki/Bahan_bakar

Zenius. 2021. *Perubahan Suhu*. Zenius.net dilihat: 02 Februari 2021 Pukul 07:33 WIB am
<https://www.zenius.net/prologmateri/fisika/a/735/perubahan->

Jurnal

Ahmad Zaky Maulana, “Analisis Beban Pencemar Udara SO₂, NO₂ dan HC dengan Pendekatan *Line Source Modeling* (Studi Kasus di Jalan Magelang Yogyakarta),” *Widyariset* Vol. 15, No. 3 (2012): 502

Arif Budiman, “*Pencemaran udara : Dampak Pencemaran Udara pada Lingkungan*” *Jurnal Berita Dirgantara* Vol. 2 No 01 (Maret 2001): 21

Babcook, I. R. Jr, “*a Combined Polution Index For Measurement Of Total Air Pollution,*” *J. Air Pol. Contr. Assoc*, 20 (1970): 643-659

Boedisantoso, R., dan William, Y, “*Analisis Beban Emisi Udara CO dan NO₂ Akibat Sektor Transportasi Darat di Kota Probolinggo*” *Jurnal Purifikas*, 15 (2), (2015): 88-107

Budi Sitorus, R. Didiet Rachmat Hidayat dan Oce Preasetya, *Pengelolaan Penggunaan Bahan Bakar Minyak yang Efektif pada Transportasi Darat*, *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik (JMTransLog)* Vol. 01 No. 02 (Juli 2014)

D.A Suryanto, “Analisis Tingkat Polusi Udara terhadap Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Studi Kasus DKI Jakarta,” *UG Jurnal* Vol. 6, No. 12 (2012): 02

Ehrlich, P. R dan Ehrlich, A. H, “*Population, Resources and Environment*. (W. H. Freeman Co., and Francisco, 1970)

- EPA (Environmental Protection Agency), “*Air quality criteria for nitrogen oxides*” Air Pol. Contr. Office Publ. No. Ap (1971): 84
- Kamal, N. M, “*Studi Tingkat Kualitas Udara pada Kawasan Mall Panakukang di Makassar*” (Disertasi, Universitas Hasanuddin, 2015)
- Keily, G, “*Environmental Engineering, International Editions, McGraw-Hill International*” (Disertasi, Singapore, 1998)
- Kurniawati, Irma D., Nurullita, Ulfa., dan Miftakhuddin, “*Indikator Pencemaran Udara Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Serang),” J. Kesehat. Masy. Indonesia.* 12(2), (2017): ISSN 1693-3443
- Linna, S S. dkk. “*Tingkat Pencemaran Udara CO Akibat Lalu Lintas dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro,*” *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol 1 (2), (2011)
- Rita Mukhtar, Isa Ansyori, dkk., “*Perbandingan Pengukuran Konsentrasi Partikulat di Udara Ambien Menggunakan Alat High Volume Air Sampler dan Gent Stacked Filter Unir Sampler,*” *Jurnal Ecolab* Vol. 9, No. 1 Januari (2015): 19
- Rumselly Komelis U, “*Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kualitas Udara Ambien di Kota Ambon,*” *Jurnal Kesehatan Lingkungan* Vol. 8, No. 2 Juli (2016): 158–163
- Seinfeld J., “*Atmospheric Chemistry and Physics of Air Polution*” John Wiley, New York (1986)
- Stoker, H. S and Seager, S. I., “*Environmental Chemistry : Air and Water Pollution*” Scott, Foreman and Co., London (1972)
- Swisscontact, *Analisis Motor Bensin berdasarkan Hasil Uji Emisi Gas Buang*” Swisscontact Jakarta (2001)
- Tessa Nur Padillah dan Riza Ibnu Adam, “*Analisis Regresi Berganda dalam Estimasi Produktifitas Tanaman Padi di Kabupaten Karawang*”. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika* ISSN: 2460-7797 (2019) : 118

Wagner, R.H., “*Environment and Man*” W.W. Norton and CO., Inc., New York (1971)

Windi Silvia, Djoko M. Hartono dan Irma Gusniani, “*Studi Kualitas Udara Parameter Total Suspended Particulate (Studi Kasus: UKM CV Ligar)*” *Jurnal UI*, (2013): 3

Wolf, P. C., “*Carbon Monoxide-Measurement and Monitoring in Urban Air*,” *Environm, Sci and Technol*. 5 (1971): 212-218

Skripsi

Amrullah Sungkono dan Eko Prastianto. *Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium dan Pertamina terhadap Prestasi Mesin*. (Universitas Muslim Indonesia : Universitas Muslim Indonesia, 2018)

Apriliani,K., Imelda,U.B., dan Edvin, A. *Hubungan antara Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Suhu Udara terhadap Intervensi Anthropologenik (studi Kasus Nyepi Tahun 2015 di Provinsi bali)*. (Jakarta: Puslitbang BMKG,2015)

Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. *Naskah Kebijakan Energi*. (Jakarta: DEN RI, 2010)

Ginting, I. A. P, “*Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan dan Faktor Meteorologi (Suhu, Kelembaban dan Kecepatan Angin) terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Udara Ambien Roadside (Studi Kasus : Pintu Tol Amplas dan Pintu Tol Tanjung Morawa)*” (Disertasi, Universitas Sumatera Utara, 2017).

Moh.Wildan Habibi, “*Analisis Pengguna Bahan Bakar Bensin Jenis Pertalite dan Pertamina pada Mesin Bertorsi Besar (Honda Beat FI 110 CC)*” (Disertasi, Universitas Nusantara PGRI,2016), 6.

Muqorrobin Romansyah , “*Analisis Korelasi Karbon Monoksida (CO) dan Particulate Matter (PM₁₀) dengan Kendaraan Bermotor dan Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus Pasar Induk*

Tradisional Bojonegoro)” (Disertasi, UIN Sunan Ampel, 2019). 5

Nashihatul Afidah, “*Analisis Hubungan Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) di Dalam dan di Luar Ruangan dan Faktor-Faktor yang Berhubungan (Studi Kasus : PT Japfa So God Sidoarjo)*” (Disertasi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, 2019), 48

Nurbiantara Setiawan, “*Pengaruh Polusi Udara terhadap Fungsi Paru pada Polisi Lalu Lintas*”. (Disertasi, Surakarta: Perpustakaan.uns.ac.id, 2010)

Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang *Pengendalian Pencemaran Udara*: Jakarta

Wawancara

Dhesi, “*Hasil Wawancara dan Data Laporan Tahunan di Pertamina AKR Bumiagung*. Bumiagung : Pertamina AKR pada Sabtu, 06 Februari 2021 Pukul 14.15 WIB pm.

Johan, “*Hasil Wawancara dan Data Laporan Tahunan di Pertamina SPBU Bumiagung*. Bumiagung : Pertamina SPBU pada Sabtu, 07 Februari 2021 Pukul 14.10 WIB pm